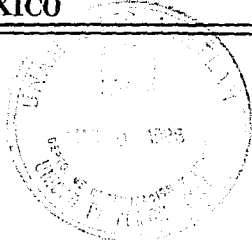


21

22



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



**TRATAMIENTO DE AGUAS PARA
SU ACONDICIONAMIENTO EN USO
DE SISTEMAS INDUSTRIALES Y
MUNICIPALES.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
PEDRO NAVARRO GOMEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Acatlán, Edo de Méx.

1988.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

P R O L O G O

IMPORTANCIA. El agua es de uso tan normal, que nos olvidamos -- de su importancia hasta el momento en que escasea. La consumi-- mos directamente a diario en las actividades más comunes que -- realizamos, a través de los alimentos que ingerimos e indirecta-- mente por medio de los objetos que usamos y adquirimos.

OBJETIVO. El presente trabajo se enfoca a analizar los diver-- sos procedimientos, tanto clásicos como nuevos, que se emplean-- para proporcionar un suministro de agua.

UTILIDAD. Se tiene un extracto de la mayor parte de los conoci-- mientos de aplicación práctica y se ponen a la disponibilidad -- de la consulta, con el fin de resolver problemas:

- a).- De agua que se desea producir y suministrar a los sistemas de abastecimiento públicos.
- b).- De agua que se desea usar en una aplicación industrial - - específica.
- c).- De tratamiento que se le debe dar a un efluente, industrial y/o comercial y/o habitacional, antes de evacuarlo a un cuerpo-receptor.

INTRODUCCION.

En lo que precede se expone que es lo que puede existir de más en el agua o que es lo que le falta, así como lo que se hace para quitárselo o ponérselo según el uso a que se destina el agua dentro de cada industria y en el servicio público destinado al consumo humano.

El presente trabajo consta de cinco capítulos que desarrollan:

Capítulo primero: Las características y calidades de las aguas a la entrada y salida de centros de tratamiento y en uso en sistemas industriales.

Capítulo segundo: Los métodos generales de uso común a todo tipo de tratamientos de aguas.

Capítulo tercero: Los procesos de acondicionamiento donde es necesario agregar productos.

Capítulo cuarto: Los procesos especiales y de poco uso así como los nuevos de creación reciente.

Capítulo quinto: La aplicación al consumo habitacional e industrial de los procesos y técnicas analizadas.

Acondicionar una agua es hacer que toda agua pueda volverse tan pura, tan corrosiva, tan incrustante, tan incolora, tan insabrosa, tan medicinal o tan útil para algún proceso en particular como se desee, no importa que tan impura, alcalina, desincrustante, odora, turbia, sípida, séptica o que tan inútil sea para un cierto uso en particular, es sólo cuestión de hacerla pasar por los procesos que se requieran, con los costos que esto implica y dentro de esto último, la selección óptima del conjunto y tipo de procedimientos que proporcionen la cantidad y calidad de agua deseada al mínimo costo.

Como finalidad de lo expuesto dentro de éstos cinco capítulos se quiso presentar de un modo concreto y útil, lo que se requiere-

re saber y hacer en el ámbito del tratamiento y acondicionamiento de aguas.

El primer capítulo es importante para conocer contaminantes, porcentajes en que se presentan y límites máximos de estos.

El segundo capítulo es importante para entender el funcionamiento de los procesos que se aplican en las plantas de tratamientos de aguas.

El tercero es importante para determinar qué y cuanto adicionarle a un agua para obtener un resultado buscado.

El cuarto capítulo es importante para esclarecer dudas sobre las técnicas sofisticadas así como introducirse a las nuevas aún poco aplicadas.

El quinto capítulo es importante para el diseño de plantas, o la renovación o ampliación de los sistemas hidráulicos en algunas de las industrias en éste seleccionadas.

Limitación de cada uno de los capítulos:

En lo que se refiere a normas y grados de calidad de las aguas; se explica minuciosamente cada uno de los posibles materiales, compuestos, gases, animales, vegetales o propiedades que se presentan en exceso.

Se hace referencia a las Normas de E.U.A. y México y a las de la A.S.T.M.

Dentro de los procedimientos generales se detalla el funcionamiento de cada uno, principalmente desde el punto de vista operativo y mecánico y se presentan las fórmulas usuales cuando pueda tener alguna utilidad el mencionarlás.

En las técnicas que involucran la adición de compuestos y -- sustancias se tratan todos aquellos productos que se deben de adicionar a un agua para lograr un cierto efecto, desde los más

simples conocidos comercialmente hasta algunos de escaso uso, - con excepción de acondicionadores muy específicos a un uso industrial particular; estos últimos son tratados en el capítulo quinto.

En los procesos y técnicas especiales se particulariza en -- temas como la digestión acelerada de lodos, desaereación, intercambio iónico y ósmosis inversa. En lo referente a procesos nuevos basicamente el trabajo se aboca a la desalación por diversos métodos y a la ozonización.

En el capítulo quinto se analizan aquellas industrias en las que aunado a un gran consumo de agua existe una gran importancia económica referido al P.I.B.

En el primero se trata:

Factores de contaminación de las aguas, contaminantes primarios, secundarios, vegetales y animales. Se habla de la calidad y usos del agua, del agua potable natural y potabilizada artificialmente y se comenta lo más relevante de los Reglamentos de -- E.U.A. y de México.

En el segundo se trata:

La limpieza primaria de los ~~aguas~~ ^{efluentes} a centros de tratamiento. Cámaras desasadoras y sedimentadoras. La filtración y los tipos de filtros. La clarificación por flotación, por gravedad y flujo ascendente. Dosificación de aditivos y mecanismos dosificadores. Mezclado de aditivos y mezcladores. La centrifugación y la aereación.

En el tercero se trata:

El rompimiento de emulsiones. La coagulación. La floculación. La precipitación. La fluoruración y defluoruración. La - -

cloración y la dureza de las aguas y su ablandamiento.

En el capítulo cuarto, que es más extenso que el tercero se trata:

La evaporación y los evaporadores. La desaeración y los desaeradores. La remoción de compuestos contenidos en baja cantidad (cianuros, cromo, hierro y manganeso). El intercambio iónico. El control de olor y sabor. La adsorción. El uso en particular de carbón activado. La separación por medio de membranas incluyendo la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Lo referente a lodos y lodos activados. La digestión de lodos. Los diversos medios de eliminación de los residuos de los lodos. Las lagunas de estabilización. La ozonización. La desalación por diversos procedimientos y la Yoduración.

El quinto es el más extenso de todos y analiza los temas de:

El Agua Potable. El Control de Corrosión. El Acondicionamiento de Agua para Calderas. El Agua en la Industria del Acero. El Agua en la Industria del Papel. El Agua en la Industria Petrolera. Acondicionamiento y uso del agua en la Industria Minera. Agua en la Industria Automotriz. Agua en la Industria del Coque. Agua en Sistemas de Enfriamiento. Agua en la Industria Alimentaria. Agua en la Industria del Vestido. Agua en la Industria Metalmeccánica y Agua en la Industria del Aluminio. Se presentan posteriormente aquellas conclusiones y recomendaciones que pueden ser importantes, apéndices que tratan de: Las substancias usadas en los procesos de tratamiento de aguas; Factores de conversión que definen Procesos Unitarios. Factores de conversión de unidades del Sistema Inglés al Sistema Internacional; Equivalencias de conversión para volumen y presión; Solubilidad del Oxígeno en agua así como las propiedades físicas del agua y finalmente un glosario de términos técnicos.

INDICE GENERAL

	X
AGRADECIMIENTOS	IV
PROLOGO	V
INTRODUCCION	VI
INDICE GENERAL	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
1. NORMAS Y GRADOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS	1
1.1 FACTORES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS	2
1.2 CONTAMINANTES PRIMARIOS	2
1.2.1 SOLIDOS DISUeltOS QUE GENERALMENTE EXCEDEN DE -- LOS 5 mg/lit	2
1.2.1.1 BICARBONATO	2
1.2.1.2 CALCIO	2
1.2.1.3 CLORURO	3
1.2.1.4 MAGNESIO	3
1.2.1.5 MATERIA ORGANICA	3
1.2.1.6 SODIO	4
1.2.1.7 SILICE	4
1.2.1.8 SULFATO	5
1.2.2 COMPONENTES QUE SE PRESENTAN CON CONCENTRACIONES SUPERIORES A 1 mg/lit Y OCASIONALMENTE SE EN CUENTRAN EN EL RANGO 1.-10. mg/lit	5
1.2.2.1 AMONIACO	5
1.2.2.2 BORATO	6
1.2.2.3 FLUORURO	6
1.2.2.4 FIERRO	6
1.2.2.5 NITRATO	7
1.2.2.6 ESTRONCIO	7
1.3 CONTAMINANTES SECUNDARIOS	
1.3.1 MATERIALES QUE GENERALMENTE SE ENCUENTRAN EN -- CONCENTRACIONES SUPERIORES A .01 mg/lit	7
1.3.1.1 ALUMINIO	7
1.3.1.2 ARSENICO	8
1.3.1.3 BARIO	8
1.3.1.4 BROMURO	8
1.3.1.5 COBRE	8
1.3.1.6 PLOMO	8
1.3.1.7 MANGANESO	9
1.3.1.8 FOSFATO	9
1.3.1.9 ZINC	9
1.3.2 MATERIALES QUE SE ENCUENTRAN EN CONCENTRACIONES MENORES A .01 mg/lit y SUS ORIGENES	10
1.3.2.1 ANTIMONIO	10
1.3.2.2 CADMIO	10
1.3.2.3 CROMO	10
1.3.2.4 COBALTO	10
1.3.2.5 CIANURO	10

		XI	
	1.3.2.6	MERCURIO	10
	1.3.2.7	NIQUEL	10
	1.3.2.8	ESTAÑO	11
	1.3.2.9	TITANIO	11
	1.3.3	RADIONUCLEIDOS	12
1.4		VEGETALES Y ANIMALES DEL AGUA CONTAMINADA	12
	1.4.1	PANORAMA GENERAL	12
	1.4.2	BACTERIAS COLIFORMES	13
	1.4.3	TERMINOS	14
1.5		USOS DEL AGUA SEGUN SU CALIDAD	15
	1.5.1	AGUA POTABLE NATURAL	15
	1.5.2	AGUA POTABILIZADA ARTIFICIALMENTE	16
	1.5.3	AGUA PARA PLORA Y FAUNA	16
	1.5.4	AGUA PARA USO AGRICOLA	16
	1.5.5	AGUA PARA USO INDUSTRIAL	17
	1.5.6	USOS DEL AGUA	17
1.6		REGIAMENTOS Y RECOMENDACIONES DEL SECTOR SALUD	18
	1.6.1	GENERALIDADES	18
	1.6.2	TERMINOLOGIA	19
1.7		NORMAS U.S.P.H.S.	20
	1.7.1	TOXA DE MUESTRAS	20
	1.7.2	CONDICIONES BACTERIOLOGICAS	21
	1.7.3	CARACTERISTICAS FISICAS Y MOLECULARES	21
<u>2. PROCEDIMIENTOS FISICOS Y TECNICAS GENERALES EN EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA.</u>			
2.1		LIMPIEZA PRIMARIA	23
	2.1.1	OBJETIVOS	23
	2.1.2	TIPOS DE REJILLAS O CRIBAS	23
	2.1.3	CANTIDAD DE DESPERDICIOS SOLIDOS RETENIDOS	25
	2.1.4	NATURALEZA DE LOS DESPERDICIOS SOLIDOS RETENIDOS	25
	2.1.5	EVACUACION DE LOS DESPERDICIOS RETENIDOS POR LAS CRIBAS	25
	2.1.6	MOLIENDA DE LOS MATERIALES RETENIDOS POR LAS REJILLAS O CRIBAS	26
	2.1.7	RASTRILLOS O REJILLAS LIMPIADAS A MANO	26
	2.1.8	RASTRILLOS O REJILLAS LIMPIADAS MECANICAMENTE	27
2.2		DESARENADO	27
	2.2.1	CAMARAS DESARENADORAS	28
	2.2.2	ANALISIS PREVIOS A LA FABRICACION	29
	2.2.3	DESARENADORES QUE EMPLEAN AIRE	30
	2.2.4	OTROS DESARENADORES	30
	2.2.5	DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DE PLUJO	30
2.3		SEDIMENTACION	31
	2.3.1	GENERALIDADES	31
	2.3.2	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA SEDIMENTACION	33

		XII	
	2.3.2.1	TIEMPO DE RETENCION TEORICO	35
	2.3.2.2	TIEMPO DE RETENCION PRACTICO	35
	2.3.3	OBSERVACIONES PARA EL DISEÑO DE TANQUES DE SE- DIMENTACION	35
2.4		FILTRACION	37
	2.4.1	FILTROS DE ARENA DE ACCION RAPIDA	38
	2.4.2	LAVADO DE FILTROS DE ARENA DE ACCION RAPIDA ...	39
	2.4.3	FILTROS DE ARENA DE ACCION LENTA	40
	2.4.4	FILTROS DE PRESION	41
	2.4.5	FILTRO DE DIATOMEAS	41
	2.4.6	FILTROS PERCOLADORES	42
2.5		CLARIFICACION	43
	2.5.1	CLARIFICACION POR FLOTACION	43
	2.5.1.1	TEORIA DE LA FLOTACION	44
	2.5.1.2	TIPOS DE SISTEMAS DE FLOTACION	45
	2.5.1.3	FLOTACION POR AIRE DISPERSADO	46
	2.5.2	PRINCIPIOS DE LA CLARIFICACION POR GRAVEDAD ...	46
	2.5.2.1	EL FLUJO EN CLARIFICADORES POR GRAVE- DAD	49
	2.5.2.2	CLARIFICADORES DE FLUJO ASCENDENTE ...	50
2.6		DOSIFICACION	51
	2.6.1	GENERALIDADES	51
	2.6.2	TANQUES DISOLVENTES PARA PRODUCTOS CRISTALINOS.	53
	2.6.3	CLARIFICADORES DE DESPLAZAMIENTO DE LIQUIDO ...	54
	2.6.4	DOSIFICADORES DE TAZON DE ORIGENIO	54
	2.6.5	DOSIFICADORES DE DECANTACION O DE TUBO OSCILANTE	55
	2.6.6	DOSIFICADORES EN SECO	56
	2.6.6.1	DOSIFICADORES VOLUMETRICOS EN SECO ...	56
	2.6.6.2	DOSIFICADORES GRAVIMETRICOS	56
2.7		MEZCLADO	57
	2.7.1	DISPOSITIVOS DE MEZCLADO	57
	2.7.2	CLASIFICACION DE ELEMENTOS AGITADORES	59
	2.7.2.1	IMPULSORES DE FLUJO AXIAL	59
	2.7.2.2	IMPULSORES DE FLUJO RADIAL	60
	2.7.3	TANQUES DE MEZCLADO	61
	2.7.3.1	TANQUES DE PAREDES LISAS	61
	2.7.3.2	TANQUES CON DIRECTORES DE FLUJO	62
	2.7.4	FUTURO DEL MEZCLADO	62
2.8		CENTRIFUGACION	63
	2.8.1	GENERALIDADES	63
	2.8.2	DESECAMIENTO POR CENTRIFUGACION	64
	2.8.3	CENTRIFUGADORAS DE TAZON SOLIDO	65
	2.8.3.1	PRINCIPIOS DE OPERACION DE CENTRIFUGA- DORAS DE TAZON SOLIDO	65
	2.8.3.2	FUNCIONAMIENTO DE CENTRIFUGADORAS DE - TAZON-SOLIDO	66
	2.8.4	EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE SEPARACION POR - CENTRIFUGADO	68
2.9		AIREACION	69

2.9.1	GENERALIDADES	69
2.9.2	AIREACION DE AGUA A TRATAR	70
2.9.3	VOLUMEN DE AIRE NECESARIO	71
2.9.3.1	VENTILACION	71
2.9.3.2	DIFUSIONES DE AIRE	72
2.9.3.3	PERMEABILIDAD DEL DIFUSOR	72
2.9.3.4	COLOCACION DE LOS DIFUSORES	72
2.9.4	AIREACION MECANICA DE AGUAS A TRATAR	73
2.9.4.1	TANQUES PARA AIRACION MECANICA	73
2.9.4.2	TIPOS DE AIRADORES MECANICOS	74

3. TECNICAS QUE INVOLUCRAN LA ADICION DE COMPUESTOS Y SUSTANCIAS 75

3.1	ROMPIMIENTO DE LAS EMULSIONES	75
3.1.1	EMULSIONES DE ACEITE EN AGUA	75
3.1.2	EMULSIONES AGUA EN ACEITE	78
3.1.3	TIPOS DE ROMPEDORES DE EMULSIONES	80
3.2	NEUTRALIZACION	80
3.3	COAGULACION	84
3.3.1	FINALIDADES DE LA COAGULACION	84
3.3.2	SULFATO DE ALUMINIO	86
3.3.3	EL SULFATO FERROSO Y LA CAL	85
3.3.4	CAPARROSA CICRADA	87
3.3.5	OTROS COAGULANTES	87
3.3.6	CONTROL DE COAGULACION	88
3.4	FLOCULACION	89
3.4.1	GENERALIDADES	89
3.4.2	FLOCULACION EN CANAL DE MANTARAS	92
3.4.3	CARGA Y COMPORTAMIENTO DE LOS FLOCULADORES	92
3.5	PRECIPITACION	93
3.6	FLUORURACION	95
3.6.1	CONCEPTOS PRELIMINARES	96
3.6.2	CONCENTRACIONES REQUERIDAS	96
3.6.3	COMPUESTOS DE FLUOR	97
3.6.3.1	MINERALES POSEEDORES	97
3.6.3.2	ESPATO FLUOR	97
3.6.3.3	ACIDO FLUORHIDRICO	98
3.6.3.4	FLUORURO DE SODIO	98
3.6.3.5	ACIDO FLUOSILICICO	99
3.6.3.6	SILICOFUORURO DE SODIO	99
3.6.3.7	SILICOFUORURO DE AMONIO	99
3.6.3.8	COSTOS DE LOS COMPUESTOS	100
3.6.4	DEFUORURACION	100
3.7	CLORACION	101
3.7.1	OBJETIVOS DE LA CLORACION	101
3.7.2	TEORIA DE LA CLORACION	101
3.7.3	CANTIDADES DE CLORO	102
3.7.4	EFICIENCIA DE LA CLORACION	104

	3.7.4.1	TIEMPO Y CONCENTRACION	104
	3.7.4.2	TEMPERATURA	104
	3.7.4.3	pH	105
	3.7.5	HIPOCLORACION	105
	3.7.5.1	TEORIA DE LA HIPOCLORACION	105
	3.7.5.2	APLICACION DE HIPOCLORITO	106
	3.7.6	CICLADORES	106
3.8		DUREZA Y ABLANDAMIENTO	107
	3.8.1	CONCEPTOS GENERALES	107
	3.8.2	PROCESO CAL-SOSA	108
	3.8.2.1	REACCIONES INTERMOLECULARES	108
	3.8.2.2	CARACTERISTICAS DEL PROCESO	109
	3.8.2.3	RESULTADO DEL PROCESO	110
	3.8.3	CANTIDADES NECESARIAS DE CAL Y SOSA	110
	3.8.4	RECARBONATACION	111
	3.8.4.1	TEORIA DE LA RECARBONATACION	111
	3.8.4.2	CANTIDAD DE BIXIDO DE CARBONO	112
4. PROCESOS Y TECNICAS ESPECIALES EN EL ACONDICIONAMIENTO DE -			
<u>AGUAS.</u>			
4.1		EVAPORACION	113
	4.1.1	TEORIA DE LA EVAPORACION	113
	4.1.2	FUNCIONAMIENTO INTERNO DE LOS EVAPORADORES	114
	4.1.3	TIPOS DE EVAPORADORES	115
	4.1.3.1	EVAPORADORES DE TUBOS SUMERGIDOS	115
	4.1.3.2	EVAPORADORES DE PELICULA	115
	4.1.3.3	EVAPORADOR INSTANTANEO	115
	4.1.3.4	EVAPORADOR DE MULTIPLE EFECTO	116
	4.1.4	ELECCION DE EVAPORADORES	116
	4.1.5	OPERACION DE EVAPORADORES	117
4.2		DESAREACION	118
	4.2.1	TEORIA DE LA DESAREACION	118
	4.2.2	PROCESO PARA DESAREACION	120
	4.2.3	CALENTADORES ABIERTOS	120
	4.2.4	CALENTADORES DESAREADORES	121
	4.2.5	CALENTADORES DE ESPREAS	122
	4.2.6	DESAREACION AL VACIO DE AGUA FRIA	123
	4.2.7	REMOCION DE OXIGENO POR ADICION DE COMUESTOS	123
	4.2.8	DESAREADORES CONDENSADORES	123
4.3		REMOCION DE COMPUESTOS CONTENIDOS EN BAJA CANTIDAD	123
	4.3.1	REMOCION DE CIANUROS	123
	4.3.2	REMOCION DE CROMO	125
	4.3.3	REMOCION DE RESIDUOS DE TRINITROTOLUENO	126
	4.3.4	REMOCION Y EVACUACION DE RESIDUOS RADIOACTIVOS	126
	4.3.5	REMOCION DE HIERRO Y MANGANESO	127
	4.3.5.1	MANGANESO	131
	4.3.5.2	USO DE BICARBONATOS	132
4.4		INTERCAMBIO IONICO	133
4.5		CONTROL DE OLOR Y SABOR	136

4.5.1	APLICACION DE SULFATO DE COBRE	127
4.5.1.1	CANTIDAD DE SULFATO DE COBRE	130
4.5.1.2	DISOLUCION DE SULFATO DE COBRE	140
4.5.2	EMPLEO DE CLORO Y AMONIACO	141
4.5.3	PARTICULARIDADES DEL CLORO, COLOR Y SABOR, Y SU APRECIACION POR EL HOMBRE	142
4.5.3.1	COLOR Y TURBIDEZ	142
4.5.3.2	SABORES Y OLORES	142
4.5.4	UTILIZACION DEL OZONO	145
4.5.5	EMPLEO DEL BICLORO DE CLORO	147
4.5.6	ELIMINACION DEL SULFURO	148
4.5.7	UTILIZACION DE LA AIRSACION	149
4.5.7.1	BOQUILLAS ROCIADORAS	149
4.5.7.2	CASCADAS	150
4.5.7.3	DOSEIFICADOR DE AIRE DE MULTIPLES CUEETAS	150
4.5.7.4	AIREADORES DIFUSORES	151
4.5.8	INTRODUCCION AL USO DE CARBON ACTIVADO	151
4.6	ADSORCION	153
4.6.1	PARTICULAS ADSORBENTES	154
4.6.2	ADSORCION DE SILICE	155
4.6.3	ADSORCION CON RESINAS	155
4.6.4	ELIMINACION POR ADSORCION DE MATERIA ORGANICA	156
4.6.5	REUPERACION DE LOS MATERIALES DE ADSORCION	157
4.6.6	MATERIALES ADSORBENTES	158
4.6.6.1	ADSORBENTES ALUMINOSOS	158
4.6.6.2	ADSORBENTES SILICEOS	158
4.6.6.3	OTROS ADSORBENTES INORGANICOS	158
4.6.6.4	CARBONES ADSORBENTES	158
4.6.6.5	ADSORBENTES ORGANICOS SINTETICOS	158
4.7	CARBON ACTIVADO	159
4.7.1	APLICACION EN POLVO	159
4.7.2	DOSEIFICACION	160
4.7.3	CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO	160
4.7.4	FILTROS DE CARBON ACTIVADO Y SU APLICACION	160
4.7.5	REACCION MASIVA DE MATERIA ORGANICA-MEDIANTE CARBON ACTIVADO	162
4.8	SEPARACION POR MEDIO DE MEMBRANA	163
4.8.1	FILTRACION	164
4.8.2	ULTRAFILTRACION	165
4.8.3	DIALISIS	167
4.8.4	ELECTRODIALISIS	167
4.8.5	OSMOSIS INVERSA	169
4.8.5.1	TIPOS MAS COMUNES	170
4.8.5.2	TIPOS DE MEMBRANAS	172
4.8.5.3	USOS DE LA OSMOSIS INVERSA	172
4.9	LOCOS ACTIVADOS	173
4.9.1	GENERALIDADES	175
4.9.2	RECIRCULACION Y AIRACION DE LOCOS	175

		IV
4.9.3	PUNIONAMIENTO Y CONTROL	177
4.10	DIGESTION DE LODOS	182
4.10.1	ASPECTOS BACTERIOLOGICO-TERMODINAMICOS	183
4.10.1.1	DISEÑO DE TANQUES	184
4.10.2	VARIABLES PRIMARIAS DE LA DIGESTION	184
4.10.3	CALOR EN EL TANQUE Y SU CONFORMO	186
4.10.4	TIEMPOS MEDIOS DE DIGESTION	188
4.10.4.1	DIGESTION RAPIDA	188
4.10.4.2	DIGESTION POR FASES	189
4.10.4.3	FACTORES DE LOS TANQUES DE DIGESTION	189
4.10.5	CARACTERISTICAS DE LOS DIGESTORES	190
4.10.5.1	TECHO DE LOS TANQUES	191
4.10.6	SUBPRODUCTOS DE LA DIGESTION ANAEROBIA DE LOS LIDOS	192
4.10.7	ADICION DE CAL EN LA DIGESTION DE LODOS	192
4.11	ELIMINACION DE LODOS	193
4.11.1	MÉTODOS DE DESECACION	193
4.11.2	INCINERACION	193
4.11.3	INCINERADORES DE LIDO	195
4.11.4	DESECADORES TERMICOS	196
4.11.4.1	DESECADORES DIRECTOS INDIRECTOS	196
4.11.4.2	DESECADORES POR ASPERSION	197
4.11.4.3	OTRAS MODALIDADES DE DESECACION	197
4.11.5	FLOTACION	197
4.11.6	FILTROS DE VACIO	198
4.11.7	PRENSAS	199
4.11.8	ELUTRACION	200
4.11.9	LECHOS DE ARENA	201
4.12	LAGUNAS DE ESTABILIZACION	203
4.12.1	DISEÑO	204
4.12.2	VARIABLES DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS	204
4.12.2.1	TEMPERATURA	204
4.12.2.2	PRECIPITACION PLUVIAL Y EVAPORACION	205
4.12.2.3	INSOLACION	206
4.12.2.4	VIENTOS	206
4.12.3	CARGA ORGANICA	206
4.12.3.1	D.B.O.	207
4.12.3.2	N.M.P.	207
4.12.4	TIEMPO DE RETENCION	207
4.12.5	OXIGENO DISUELTO	208
4.12.6	pH	210
4.13	OZONIZACION	210
4.13.1	ACCION DEL OZONO	211
4.13.1.1	LOS DETERGENTES	213
4.13.1.2	SUBSTANCIAS EXTRACTIBLES MEDIANTE CIO- ROFORMO (S.E.C.)	213
4.13.1.3	HIDROCARBUROS	214
4.13.2	ACCION ESTERILIZANTE DEL OZONO	214
4.13.2.1	ACCION BACTERICIDA	214
4.13.2.2	ACCION VIRULICIDA	215

4.13.2.3	ACCION SOBRE EL PLANTON	215
4.13.2.4	INTERES DE LA OZONIZACION PREVIA	215
4.13.3	PRODUCCION Y TRANSFERENCIA DEL OZONO	216
4.13.3.1	PRODUCCION DEL OZONO	216
4.13.3.2	ESTABILIDAD DEL OZONO	218
4.13.4	METODOS DE APLICACION DEL OZONO	219
4.13.4.1	CONSIDERACIONES TECNICAS	219
4.13.4.2	APARATOS DE DISOLUCION	223
4.13.5	IMPORTANCIA PRINCIPAL	227
4.14	DESALACION	228
4.14.1	PUNENTES DE AGUA	230
4.14.2	PLANTAS DESALADORAS GRANDES	233
4.14.3	INGENIERIA ECONOMICA EN LOS PROYECTOS DE DESALACION	236
4.14.3.1	PROYECTOS PARA ACONDICIONAR AGUA MARINA	238
4.14.3.2	PROYECTOS PARA ACONDICIONAR AGUA SALOBRE	242
4.14.4	RESIDUOS DE LAS DESALADORAS	244
4.14.5	PROCESOS TIPOICOS DE CONVERSION DE AGUA SALADA	247
4.14.5.1	DESALACION POR DESTILACION	247
4.14.5.2	DESALACION POR ELECTRODIÁLISIS	249
4.14.5.3	DESALACION POR OSMOSIS INVERSA	251
4.14.5.4	DESALACION A TRAVES DE INTERCAMBIO IONICO	253
4.14.6	DESALACION POR CONGELACION	255
4.14.6.1	GENERALIDADES	255
4.14.6.2	SEPARACION Y LAVADO DE LOS CRISTALES DE HIELO	257
4.14.6.3	CONGELACION INDIRECTA	259
4.14.6.4	CONGELACION DIRECTA	262
4.14.6.5	COMPARACION DE PROCEDIMIENTOS	266
4.15	YODURACION	268
4.15.1	HISTORIA DE LA YODURACION	268
4.15.2	PRIMERAS APLICACIONES DE LA YODURACION	269
4.15.3	COSTOS DE LA YODURACION	271
5:	AGUA POTABLE Y PARA LA INDUSTRIA	273
5.1	AGUA POTABLE	273
5.1.1	SISTEMA DE AGUA POTABLE	273
5.1.2	GENERALIDADES	273
5.1.3	CALIDAD	275
5.1.3.1	CARACTERES FISICOS	275
5.1.3.2	CARACTERES MOLECULARES	275
5.1.3.3	CARACTERES BACTERIOLOGICOS	276
5.1.3.4	CARACTERISTICAS COMPLEMENTARIAS	277
5.1.4	DESINFECTACION DE LAS TUBERIAS DE AGUA POTABLE	278
5.1.5	IMPORTANCIA DE LA SUPERVISION	279
5.1.6	INVESTIGACION DE POSIBLES PUNENTES CONTAMINANTES	280

	VIII
5.2 CONTROL DE LA CORROSION	280
5.2.1 OXIGENO DISUELTOS	281
5.2.2 ACIDO CARBONICO	281
5.2.3 EFECTO DEL CLORO LIBRE	281
5.2.4 OTROS GASES DISTINTOS DEL ACIDO CARBONICO Y EL OXIGENO, DISUELTOS EN AGUA	282
5.2.5 INFLUENCIA DEL PH DE UNA SOLUCION SOBRE LA CO- RROSION	283
5.2.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA CORROSION	283
5.2.7 LA VELOCIDAD DEL AGUA Y SU EFECTO SOBRE LA CORRO- SION	284
5.2.8 LA ALCALINIDAD DEL AGUA Y SU EFECTO EN LA CORRO- SION DEL HIERRO	284
5.2.9 CORROSION DEBIDA A ACIDOS MINERALES	284
5.2.10 EL COBRE METALICO Y SU EFECTO SOBRE LA VELOCIDAD DE CORROSION	285
5.2.11 PELICULAS PROTECTORAS DE OXIDO DE HIERRO	286
5.2.12 CORROSION DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO CON VAPOR Y LINEAS DE RETORNO DE CONDENSADO	286
5.2.13 TRATAMIENTO CON ACEITE PARA PREVENIR LA CORRO- SION DE LAS LINEAS DE CONDENSADO	287
5.3 ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA CALERAS	288
5.3.1 PROBLEMATICA	289
5.3.2 TRATAMIENTO EXTERNO	291
5.3.2.1 SOLIDOS SUSPENDIDOS	291
5.3.2.2 DUREZA	291
5.3.2.3 ALCALINIDAD	292
5.3.2.4 SILICE	293
5.3.2.5 SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	294
5.3.2.6 MATERIA ORGANICA	294
5.3.2.7 GASES DISUELTOS	294
5.3.3 TRATAMIENTO INTERNO	295
5.3.3.1 PROGRAMA DE COAGULACION	296
5.3.3.2 PROGRAMA DE FOSFATOS	297
5.3.3.3 PROGRAMA DE QUELANTANTES	297
5.3.3.4 PROGRAMA DE FOSFATO COORDINADO	298
5.3.3.5 CONTAMINANTES INTERNOS	298
5.3.4 PURGADO	299
5.4 AGUA EN LA INDUSTRIA DEL ACERO	300
5.4.1 INDUSTRIA DEL ACERO	300
5.4.2 ALTOS HORNOCS	300
5.4.3 TRATAMIENTO DEL GAS DE ESCAPE	301
5.4.4 PRODUCCION DE ACERO	301
5.4.4.1 PROCESO DE OXIGENO BASICO	301
5.4.4.2 PROCESO DE HOGAR ABIERTO	301
5.4.4.3 HORNO ELECTRICO	302
5.4.5 COLADA CONTINUA	302
5.4.6 LAMINADO	302

	5.4.6.1	LAMINADO EN CALIENTE	302
	5.4.6.2	LAMINADO EN FRIO	303
	5.4.7	SINTERIZADO	303
5.5		ACONDICIONAMIENTO DE AGUA EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL ...	304
	5.5.1	RESIDUOS GENERADOS EN LAS FABRICAS DE PAPEL ...	305
	5.5.1.1	SOLIDOS EN SUSPENSION	306
	5.5.1.2	SUSTANCIAS ORGANICAS SOLUBLES	307
	5.5.1.3	SUSTANCIAS TOXICAS PARA LA VIDA ACUA-- TICA	308
	5.5.1.4	SUSTANCIAS INORGANICAS SOLUBLES	309
5.5.2		TIPOS DE PULPA Y DE SUSTANCIAS CEDIDAS AL AGUA.	310
	5.5.2.1	PULPA DE KRAFT BLANQUEADA Y SIN BLAN-- QUEAR	310
	5.5.2.2	PULPA DE SULFITO	310
	5.5.2.3	PUEPAS SEMI-QUIMICAS	311
	5.5.2.4	PASTA DE PAPEL	312
	5.5.2.5	PASTA MECANICA	312
5.5.3		TIPOS DE PAPEL Y COMPOSICION DE LOS COMPUESTOS RESIDUALES DE SU PRODUCCION	312
	5.5.3.1	RESIDUOS DE PRODUCCION DE PAPELES PINOS	312
	5.5.3.2	RESIDUOS DE PRODUCCION DE PAPELES PARA LIBROS Y PUBLICACIONES	313
	5.5.3.3	RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE PAPELES - TIPO TELA	313
	5.5.3.4	RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE PAPELES - BASICOS	314
5.5.4		PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS -- DE LA INDUSTRIA DEL PAPEL	314
	5.5.4.1	REDUCCION DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION	314
	5.5.4.2	ELIMINACION DE SUSTANCIAS ORGANICAS SO LUBLES	322
	5.5.4.3	CONTROL DE LOS RESIDUOS VISIBLES	326
	5.5.4.4	ELIMINACION DE CONTAMINANTES TOXICOS - PARA LA VIDA ACUATICA	327
5.6		AGUA EN LA INDUSTRIA PETROLERA	328
	5.6.1	COMPUESTOS INORGANICOS EN AGUAS EMPLEADAS	328
	5.6.2	GENERALIDADES ACERCA DEL TRATAMIENTO DE LOS - EFLUENTES	329
	5.6.3	PASOS Y PROCESOS BASICOS EN EL TRATAMIENTO DE - EFLUENTES DE REFINERIAS	330
	5.6.4	CARACTERISTICAS DE LAS PELICULAS DE ACEITE ...	333
	5.6.5	SEPARADORES AGUA-ACEITE	334
	5.6.5.1	SEPARADOR GRAVIMETRICO TIPO API	335
	5.6.5.2	EJEMPLO DE DISEÑO DE UN SEPARADOR API.	343
	5.6.6	FILTRACION PARA LA ELIMINACION DE ACEITE	349
	5.6.7	LAGUNAS DE AERACION	352
	5.6.8	CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS (CBR)	353
	5.6.9	Lodos Activados	356
5.7		ACONDICIONAMIENTO Y USO DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA	358

		IX	
	5.7.1	ACONDICIONAMIENTO PARA FLOTACION	358
	5.7.2	ACONDICIONADORES COLECTORES	360
	5.7.3	ACONDICIONADORES PROMOPORES	362
	5.7.4	ACONDICIONADORES DEPRESORES	363
	5.7.5	ACONDICIONADORES ACTIVANTES	365
	5.7.6	TANQUES PARA MEZCLA DE ACONDICIONADORES	368
	5.7.7	RECUPERACION DE AGUA	370
5.8.		AGUA EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	377
	5.8.1	AGUA EN LA FABRICACION DE MOTORES Y PARTES DE FUNDICION	377
	5.8.2	EL AGUA COMO AUXILIAR EN EL PROCESO DE FABRICA CION DE PIEZAS	378
	5.8.3	LIMPIEZA DE PIEZAS Y ENSAMBLAJES	379
	5.8.4	RECOLECCION DE PINTURA PULVERIZADA, NO DEPOSITADA A LAS CARROGERIAS	380
	5.8.5	EL AGUA EN EL ENSAMBLAJE Y ELECTRODEPOSITACION	382
	5.8.6	EL AGUA EN EL TROQUELADO	384
	5.8.7	EL AGUA EN EL CROMADO Y NIQUELADO	384
5.9.		EL AGUA EN LA INDUSTRIA DEL COQUE	385
5.10		AGUA EN SISTEMAS DE RECIRCULACION	387
	5.10.1	INCORUSTACION CONTROLADA DE CARBONATO DE CALCIO	387
	5.10.2	USO DEL INDICE DE LANGMUIR PARA LA SATURACION DE CARBONATO DE CALCIO	388
	5.10.3	PRUEBA MODIFICADA DE MARMOL PARA DETERMINACION DEL INDICE DE SATURACION	390
	5.10.4	VARIABLES QUE IMPIDEN LA FORMACION DE INCRU STACIONES	390
	5.10.5	RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OPTIMOS GENERADOS POR INCORUSTACION	392
	5.10.6	INCORUSTACION Y TEMPERATURA	392
	5.10.7	ACONDICIONAMIENTO A TRAVES DE METAROSFATOS	392
	5.10.8	ACONDICIONAMIENTO A TRAVES DE CROMATOS	393
		5.10.8.1 SELECCION DE CROMATOS	394
		5.10.8.2 GLUCONATO TETRACROMICO	394
	5.10.9	COMPUESTOS FORMADOS POR COMBINACION DE INHIBIDORES	395
	5.10.10	VARIABLES QUE AFECTAN A LAS PELICULAS PROTECTO RAS	395
	5.10.11	EFECTOS FISIOLOGICOS DE LOS CROMATOS	396
	5.10.12	CONTAMINACION POR CROMATOS	398
	5.10.13	PROTECCION CON ACEITE	398
	5.10.14	SUBSTANCIAS HUMECTANTES	398
	5.10.15	DEGASEACION AL VACIO	399
	5.10.16	TECNICAS DE EVALUACION	400
	5.10.17	EFECTOS DEL AGUA SOBRE EL MATERIAL DE CONSTRUC CION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO	401
5.11		AGUA EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO	401
	5.11.	ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO	402
	5.11.1	ENFRIAMIENTO EN UN SOLO PASO	403
	5.11.2	SISTEMAS CERRADOS DE RECIRCULACION	406
	5.11.3	SISTEMAS ABIERTOS DE RECIRCULACION	408
	5.11.4	DISMINUCION DE LA COMPOSICION DEL AGUA PARA ENFRIAMIENTO	411
	5.11.5	VARIABLES IMPORTANTES DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	412

5.11.6	ACONDICIONADORES EN LOS TRATAMIENTOS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	412
5.11.7	ACONDICIONAMIENTO CONTRA MATERIA DEPOSITABLE.....	413
5.11.8	ACONDICIONAMIENTO CONTRA CRECIMIENTOS DE ORDEN BIOLÓGICO.....	414
5.12.	AGUA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	415
5.12.1	AGUA EN LA PRODUCCION DE AZUCAR.....	415
	5.12.1.1 AZUCAR DE REMOLACHA.....	415
	5.12.1.2 AZUCAR DE CAÑA.....	416
5.12.2	AGUA EN LA INDUSTRIA LECHERA.....	416
5.12.3	AGUA EN LA PRODUCCION DE CONSERVAS Y ALIMENTOS ENLATADOS.....	421
5.12.4	AGUA EN LA INDUSTRIA DE LA CARNE.....	423
5.12.5	AGUA EN LA INDUSTRIALIZACION DE CITRICOS.....	426
5.12.6	AGUA EN LA INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS ALCOHOLICAS.....	426
5.12.7	AGUA EN LA INDUSTRIA DE LOS PRODUCTOS DE MAIZ.....	427
5.13	AGUA EN LA INDUSTRIA DEL VESTIDO.....	429
5.13.1	AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	429
5.13.2	AGUA EN LAVADORES DE AIRE, EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	433
5.13.3	PLANES DE ACONDICIONAMIENTO DE AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	434
5.13.4	EL AGUA EN EL LAVADO DE LA LANA.....	435
5.13.5	EL AGUA EN LA PREPARACION DE PIELS.....	436
5.13.6	EL AGUA EN EL LAVADO DE TELAS.....	437
5.14	AGUA EN LA INDUSTRIA METALMECANICA.....	439
5.14.1	PROCESOS PARA ELIMINAR EL AGUA DE DESECHO.....	440
5.14.2	ENSUCIAMIENTO CONSTANTE DEL AGUA.....	442
5.14.3	DOS EJEMPLOS.....	446
5.14.4	TOLERANCIA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.....	448
5.15	AGUA EN LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO.....	449
	CONCLUSIONES.....	454
	APENDICE A.....	456
	APENDICE B.....	465
	APENDICE C.....	471
	APENDICE D.....	475
	APENDICE E.....	476
	APENDICE F.....	477
	GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS.....	478
	BIBLIOGRAFIA.....	487

LISTA DE ABREVIATURAS ENTLEADAS.

A°	Armstrong
acre/mgd	Millones de galones diarios por acre.
AG/AG	Emulsiones de aceite en agua
AG/AC	Emulsiones de agua en aceite
API	American Petroleum Institute
aprox	Aproximadamente
ASTM	American Society of Testing Materials --
atm	Atmósferas.
A.W.W.A.	American Water Works Association.
Ba	Bario
BOD	Biology Oxygen Demand
BTU	British Thermal Unit (Unidades Térmicas Británicas).
c/	Con
cal	Calorías
Ca SO ₄	Sulfato de Calcio
Cl ₂	Cloro diatómico
Co Cl ₂	Cloruro de Cobalto
CO ₂	Dióxido de Carbono
cm	Centímetro
cm/min.	Centímetros minuto
Cmin	Concentración de ozono producida con un -- mínimo de energía.
CN ⁻	Cianuro
Cs	Cesio
DBO	Demanda bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno

ED	Electrodialisis
F	Fahrenheit
Fe	Hierro
Fe Cl ₃	Cloruro férrico
Fe (OH) ₃	Hidróxido férrico
Fe ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato férrico
ft ³	Pies cúbicos
g	gramos
Gal	Galones
gpm	Galones por minuto
gps	Galones por segundo
g/l	gramos por litro
gpd/sqft	Galones por día por pie cuadrado
gpm/sqft	Galones por minuto por pie cuadrado
g/m ³	Gramos por metro cúbico
H	Hidrógeno
ha	Hectarea
HCl	Acido clorhídrico
HCO ₃ ⁻	Ión bicarbonato
Hg	Mercurio
HP	Caballo de potencia
Hz	Hertz (ciclo/segundo)
H ₂ SO ₄	Acido sulfúrico
IE	Intercambio iónico
kg	Kilogramos
kg/cm ²	Kilogramos por cada centímetro cuadrado
km/h	Kilómetros por hora
kwh	Kilowatt por hora
kwh/kgO ₃	Kilowatt hora por kilogramo de ozono

lb/ft ³	Litras por cada pié cúbico
l.p.m.	Litros por minuto.
L	Litros
lt/min/m ²	Litros por minuto por metro cuadrado
lts	Litros
Ltv	Destilación en tubos largos verticales
m	Metros
mc	Micro Couries
mca	Metros de columna de agua
mg	Miligramos
Mgal	Megagalones (Miller de galones)
Mgd	Megagalones diarios
mg/l	miligramos por litro
MgO	Óxido de magnesio
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
MSP	Destilación Instantánea en etapas múltiples
"MC"	Viscosidad cinemática
m ³	Metros cúbicos
m ³ /min	Metro cúbico por minuto
m ³ /h	Metro cúbico por hora
m/s	Metro por segundo
m ³ /S	Metro cúbico por segundo
m ³ /ton	Metros cúbicos por tonelada
N	Nitrógeno
NEO	Necesidad biológica de oxígeno
No.	Número
NQO	Necesidad química de oxígeno
N ₂ O ₅	Pent-óxido de nitrógeno

CI	Composici6n Inversa
CE	Composici6n Inversa
C ₂	Ciferao diat6nico
Co	radio curies
Pu	Platino
pH	Potencial Hidr6geno
Plg	pulgada
ppt	Partes por bill6n
ppm	partes por mill6n
p.p.m.	partes por mill6n
psig	Libras por pulgada cuadrada
RPM	Revoluciones por minuto
Sr	Estroncio
STD	S6lidos disueltos totales
t/h	Toneladas por hora
t ₀	tiempo base
ton.	toneladas m6tricas
UF	Ultrafiltraci6n
μg	Microgramos
μg/l	Microgramos por litro
μg.lt	Microgramos por litro
μm	Micras o micr6metros
Vc	Destilaci6n por compresi6n de vapor
w	Wts
Wh/g	Watt hora por gramo
W/Wh/gr	Watt por watt hora por gramo
'	Fies
"	Pulgadas

°C Grads Celsius
°F Grads Fahrenheit
°K Grads Kelvin.

1. NORMAS Y GRADOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS

1.1. FACTORES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS

Los factores de contaminación de las aguas, responsables de la alteración de las cualidades del líquido son, entre otros: temperatura, olor, color, pH, sustancias disueltas, aceites emulsionados, radioactividad, arcilla, etc.

Se pueden agrupar en 3 grados o grupos contaminantes que son:

a) Físicos; b) Moleculares inorgánicos; c) Orgánicos.

FISICOS.- Son aquellos que directa o indirectamente modifican la cantidad de energía interna del agua, reflejando esto en cambios a su temperatura.

MOLECULARES INORGANICOS.- Son las arenas, arcillas, sales disueltas, óxidos-minerales, ácidos, gases disueltos, radionúclidos y cualquier compuesto, sustancia inorgánica o elemento presente con concentraciones por encima de las entendidas como típicas.

ORGANICOS.- Son los vegetales, hongos, algas, bacterias, virus, protozoarios, o cualquier otro tipo de organismo celular vivo o muerto y moléculas, compuestos y sustancias orgánicas.

Los factores de contaminación son analizados principalmente en dos formas:

Primera.- En aquella en la cual afectan a organismos vivos.

Segunda.- Aquella en la cual los contaminantes modifican favorable o desfavorablemente a los procesos productivos industriales.

En ciertas ocasiones, la clasificación atiende a observaciones puramente físicas que separan los contaminantes en:

- a) Flotantes
- b) En suspensión
- c) En arrastre
- d) Disueltos

De forma similar, otro de los enfoques atiende a los porcentajes en que se encuentran presentes los contaminantes y subdividen en contaminantes debidos a la materia orgánica y contaminantes debidos a la sales, óxidos y gases disueltos.

1.2 CONTAMINANTES PRIMARIOS DE AGUA

El mayor porcentaje de las partículas que se encuentran en los sólidos disueltos totales, forman los contaminantes primarios. La suma de todos los materiales disueltos al agua tiene un rango de 25 a 5000 mg/lit. O mayor. En procesos industriales hay en algunos tolerancias mayores y en otros menores.

La reducción de los sólidos disueltos se logra mediante la reducción en los componentes individuales.

1.2.1 SÓLIDOS DISUELTOS QUE GENERALMENTE EXCEDEN A LOS 5 mg/lit.

1.2.1.1 BICARBONATO (HCO_3^- ; Peso molecular 61)

El ión bicarbonato es el componente alcalino principal de casi todas las fuentes de agua. Por lo general se encuentra en el rango de 5 a 500 mg/lit. — como CaCO_3 . Su introducción es mediante la acción disolvente CO_2 , producido por acción bacteriana sobre los minerales que contienen carbonatos. Las actividades de la población humana también introducen materiales alcalinos en el agua debido al uso de detergentes industriales y domésticos. La alcalinidad en el agua potable rara vez excede de 300 mg/lit. El control de la alcalinidad es importante en muchas aplicaciones industriales debido a su importancia en el índice de estabilidad del carbonato de calcio. El control de la alcalinidad es importante tanto en el agua concentrada de las calderas como en el agua de enfriamiento en los sistemas de enfriamiento por evaporación. Las cantidades de agua agregadas a estos sistemas deben con frecuencia tratarse para reducir la alcalinidad, ya sea mediante el ablandamiento con cal o mediante la acción directa de ácido. La alcalinidad también es objetable en otras industrias como en la industria de las bebidas, donde neutraliza la acidez de los sabores de las frutas y en las operaciones textiles, en donde interfiere con los colorantes ácidos.

1.2.1.2 CALCIO (Ca^{+2} ; Peso molecular 40)

El calcio es el componente principal de la dureza en el agua y generalmente se encuentra en el rango de 5-500 mg/lit. como CaCO_3 . Está presente en muchos minerales, sobre todo en la piedra caliza y en

el yeso. con frecuencia, los depósitos de piedra caliza son el residuo de fósiles de pequeños organismos acuáticos. El calcio es uno de los factores principales para determinar el índice de estabilidad. Con frecuencia, se requiere de la reducción de calcio al tratar el agua para las torres de enfriamiento. En muchas operaciones industriales se necesita eliminarlo por completo, en particular en el agua de reposición para calderas, en las operaciones de acabado de textiles y en la limpieza y enjuague en las operaciones de acabado de metales.

La dureza del calcio puede reducirse hasta un nivel de 35 mg/lit. como CaO_2 , mediante el ablandamiento en frío con calsona y hasta menos de 25 mg/lit. mediante el mismo ablandamiento en caliente. A través de intercambio catiónico se obtienen concentraciones menores a 1 mg/lit.

1.2.1.3 CLORURO (Cl^- ; Peso atómico 35.5)

Se encuentra en cantidades de 10 a 100 mg/lit.

El agua de mar contiene más de 30 000 mg/lit. como NaCl. El contenido de cloruro medio de aguas no marinas suele ser de 25-50 mg/lit. El intercambio aniónico es el único proceso químico capaz de eliminar los cloruros del agua, sin embargo algunos procesos físicos como la evaporación y la ósmosis inversa, pueden separar el agua en dos corrientes; una de ellas con un contenido reducido de cloro y la otra con un contenido mayor. El límite máximo recomendado en el agua potable es 250 mg/lit.

1.2.1.4 MAGNESIO

La dureza del magnesio en el agua es aproximadamente una tercera parte de la dureza total, siendo las dos terceras partes restantes, dureza de calcio. El magnesio varía entre 10 y 50 mg/lit. El carbonato de magnesio produce también incrustaciones, aunque no tan severas como las ocasionadas por el carbonato de calcio. El carbonato de magnesio puede eliminarse hasta un residuo de 30-50 mg/lit. con ablandamiento con cal en frío o hasta 1-2 mg/lit. con un proceso en caliente; también se reduce por medio de intercambio iónico a concentraciones menores de 1mg/lit.

1.2.1.5 MATERIA ORGANICA (Carbono O^{4+} ; Peso atómico 12)

Muchas aguas tienen un color amarillento que proviene de la descomposición de vegetales y animales, así como de desechos del metabo-

lismo de animales vivos.

Estos materiales orgánicos se clasifican en ácido húmico, ácido fúlvico y humina. La materia orgánica se halla en contenidos de unos 5 mg/lit., con alrededor de un 45% de carbono.

La materia orgánica es indeseable en las aguas municipales potables y puede resultar problemática en los suministros industriales e interferir en los procesos de acondicionamiento.

La materia orgánica es uno de los factores principales en el agotamiento de las resinas intercambiadoras de aniones, pues desgracia la calidad del efluente de agua desmineralizada, producida por dichas resinas. La materia orgánica suele presentarse en forma coloidal.

1.2.1.6 SODIO

La mayoría de las sales de sodio son muy solubles en agua. El alto contenido de cloruros en las salinas y en el agua de mar, generalmente está asociado con el ión sodio. En las aguas dulces varía de 10 a 100 mg/lit. El sodio está presente en arcillas y feldespatos. El único proceso químico para eliminar el sodio es el intercambio catiónico en el ciclo del hidrógeno. La evaporación y la ósmosis inversa también reducen el sodio, produciendo una corriente baja en sodio y una salina de desecho con una concentración elevada de él.

1.2.1.7 SILICE (SiO_2 ; óxido de silicio; Peso molecular 60)

La sílice está presente en casi todos los minerales y se encuentra en el agua dulce en un rango de 1-100 mg/lit. La sílice se considera coloidal debido a que su reacción con MgO y $\text{Fe}(\text{OH})_3$, muestra características similares a las de los coloides típicos.

La sílice es indeseable en concentraciones altas en las aguas de las torres de enfriamiento debido a la incertidumbre que existe acerca de sus límites de solubilidad. Es indeseable en el agua de reposición para calderas, no sólo debido a que puede formar una incrustación en la misma caldera, sino también porque se volatiliza a altas temperaturas y puede depositarse en los álabes de los equipos accionados por el vapor. Los procesos de tratamiento para eliminar la sílice son: adsorción sobre precipitados de magnesio durante el proceso de ablandamiento con cal; adsorción sobre hidróxido férrico en los procesos de coagu-

lación utilizando sales de hierro, e intercambio aniónico en los procesos de desmineralización.

1.2.1.8 SULFATO (SO_4^{2-} ; óxido de azufre; Peso molecular 96)

El sulfato se disuelve en el agua a partir de ciertos minerales, especialmente yeso, o aparece de la oxidación de los minerales sulfurosos. Su rango típico está entre 5 y 200 mg/lit. El límite máximo para agua potable es de 250 mg/lit. El sulfato de calcio es indeseable en sistemas de evaporación. Los niveles altos de calcio pueden reducirse con procesos a base de cal, o cal y aluminato, así como con precipitación con carbonato de bario, y con intercambio aniónico.

1.2.2 COMPONENTES QUE SE PRESENTAN CON CONCENTRACIONES SUPERIORES A 1 mg/lit., Y OCASIONALMENTE SE ENCUENTRAN EN EL RANGO 1-10 mg/lit.

1.2.2.1 AMONIACO (NH_3)

El amoníaco es uno de los componentes transitorios en el agua, pues que es parte del ciclo del nitrógeno y está influido de la actividad biológica. El amoníaco se encuentra en las fuentes superficiales de los desechos agrícolas en áreas donde se aplica el amoníaco a la tierra como fertilizante. El amoníaco se oxida mediante la acción bacteriana, primero hasta nitrito y después hasta nitrato, de forma que la concentración se ve continuamente afectada por la contribución por parte de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados y por el empleo, como el uso de las bacterias, del amoníaco para convertirlo en nitrato.

Los rangos típicos de concentración en la mayor parte de las fuentes superficiales es de .1 a 1.0 mg/lit. expresado como nitrógeno (N). No está generalmente en las aguas de pozo, ya que se ha ido convirtiendo por las bacterias del suelo en nitrato. Ciertas descargas industriales, como los desechos de las plantas de coque, tienen un contenido elevado de amoníaco y esto explica el porqué del contenido amoniacal de algunas aguas superficiales.

La concentración de amoníaco no está restringida en los estándares para el agua potable. El amoníaco corroe las amalgamas de cobre, de forma que es importante en los sistemas de enfriamiento y en el agua de alimentación de las calderas.

Con frecuencia se agrega amoníaco deliberadamente como fuente de nitrógeno para los sistemas de tratamiento de desechos biológicos. El amoníaco puede eliminarse mediante desgasificación, mediante intercambio catiónico en el ciclo del hidrógeno y por adsorción mediante algunas arcillas, como la clinoptilonita. También puede reducirse su concentración, aunque no eliminarse, por procesos biológicos.

1.2.2.2 BORATO ($B(OH)_4$)

La mayor parte del boro que hay en el mundo, se encuentra en el agua del mar en una concentración de 5 mg/lit.

Se encuentra presente en el agua como ácido bórico no ionizado - $B(OH)_3$ y a pH alto arriba del 10 como borato $B(OH)_4$. Puede ser dañino para las cosechas y cítricos si está presente en el agua de riego. Su concentración no está limitada a sistemas municipales de agua potable. Puede eliminarse mediante intercambio iónico y por adsorción.

1.2.2.3 FLUORURO

El flúor es un componente común de muchos minerales. Su concentración, tanto mínima como máxima, se halla cuidadosamente especificada. - En las aguas de desecho de las fábricas de vidrio y acero, se llegan a encontrar altas concentraciones. El fluoruro puede disminuirse mediante precipitaciones con cal hasta 10 a 20 mg/lit. Puede también reducirse su contenido por intercambio aniónico y con adsorción sobre fosfato de calcio e hidróxido de magnesio.

1.2.2.4 HIERRO (Fe^{+2} y Fe^{+3})

El hierro se encuentra en la mayor parte de las rocas ígneas y en los minerales arcillosos. En ausencia de oxígeno, el hierro es bastante soluble en estado reducido.

Cuando se oxida en un rango de pH de 7 a 8.5, el hierro es casi completamente insoluble, y su concentración se puede reducir con facilidad a menos de .3 mg/lit., que es la máxima permisible para agua potable.

1.2.2.5 NITRATO (NO_3^-)

El nitrato, al igual que el amoníaco, entra en el agua por medio del ciclo del nitrógeno principalmente, más que a través de los minerales disueltos. Su concentración máxima para agua potable es de 45 mg/lit. El único proceso químico que elimina el nitrato es el intercambio anión-

nico; el nitrato puede convertirse a nitrógeno en un sistema biológico, mediante la acción de las bacterias nitrificantes. El contenido de nitrato en las aguas de pozo suele ser más alto que en el agua superficial.

1.2.2.6 ESTRONCIO (Sr⁺²)

El estroncio pertenece a la misma familia del calcio y el magnesio. Aunque su solubilidad en presencia de bicarbonato es significativa, su abundancia suele estar restringida a las formaciones geológicas en donde aparecen minerales de plomo, de forma que su concentración en el agua es por lo general muy baja. Se elimina por completo mediante cualquier proceso de los utilizados para eliminar el calcio. Su presencia en aguas duras, fomenta el problema de incrustaciones. El estroncio por lo general se elimina en el proceso de ablandamiento.

1.3 CONTAMINANTES SECUNDARIOS DEL AGUA (Disueltos)

1.3.1 MATERIALES QUE GENERALMENTE SE ENCUENTRAN EN CONCENTRACIONES SUPERIORES A .01 mg/lit.

1.3.1.1 ALUMINIO (Al⁺³)

En sistemas de aguas industriales, el flóculo de alumbre arrastrado de un clarificador puede causar problemas de depósito, sobre todo en los sistemas de enfriamiento, donde se utiliza fosfato como tratamiento estabilizador. El aluminio que se encuentra en los sistemas de agua tratada, generalmente se encuentra allí, debido a los residuos coloidales de alúmina Al₂O₃ de la coagulación del agua, si se empleó alumbre o aluminato como coagulante. Si los residuos son inadecuados, pueden eliminarse mediante mejores prácticas de filtración.

1.3.1.2 ARSENICO (As)

La solubilidad del arsénico en agua es tan baja, que su presencia suele ser un indicador de que hay operaciones en minas, o de tipo metalúrgico. Ello, en aguas arriba sobre los ríos o afluentes; o bien, que hay áreas agrícolas en donde se están utilizando materiales con arsénico como venenos. Si está en forma coloidal, debe eliminarse a través de procesos convencionales de tratamiento de aguas.

Los diferentes reglamentos limitan su contenido a un máximo de .1 mg/lt. de arsénico total. Si el material está presente en forma orgánica, puede eliminarse mediante oxidación del material orgánico con una coagulación subsecuente, o mediante un proceso de adsorción.

1.3.1.3 BARIO (Ba^{+2})

En las aguas naturales que contienen bicarbonato y sulfato, la solubilidad del bario está por debajo de .1 mg/lt. y rara vez se encuentra en concentraciones mayores de .05 mg/lt. La eliminación hasta residuos muy pequeños puede hacerse mediante el tratamiento convencional con cal.

El bario se limita a un máximo de 1 mg/lt.

1.3.1.4 BROMURO (Br^{-})

El bromo se encuentra en el agua de mar en aproximadamente 65 mg/l. como ión bromuro; algunas aguas congénitas producidas junto con el petróleo contienen hasta varios cientos de mg/lt. Una cantidad superior a .05 mg/lt. en el agua dulce, puede indicar la presencia de desechos industriales, o de pesticidas.

1.3.1.5 COBRE (Cu^{+2})

El cobre puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que contienen cobre o por desechos minerales en la producción del cobre. Su concentración en aguas municipales se limita a un máximo de 1 mg/lt. A concentraciones más altas, el agua tiene un sabor astringente. En los suministros industriales, la presencia de cobre puede no ser adecuada debido a que corroe al aluminio.

1.3.1.6 PLOMO (Pb^{+2})

La presencia de plomo en el agua dulce generalmente indica la contaminación con desechos metalúrgicos o con venenos de uso casero y municipal que contienen plomo, como el arsenato de plomo. Los límites máximos de plomo en el agua potable son de .05 mg/lt. El proceso de purificación más económico es la filtración. El agua de desecho de plomo puede ir junto con la materia orgánica y/o puede hallarse solubilizado, por lo cual se oxida previamente la materia orgánica para luego obtener la eliminación del plomo.

1.3.1.7 MANGANESO (Mn^{+2} , Mn^{+4})

El manganeso está presente en muchos suelos, sedimentos y rocas; en el agua libre de oxígeno se disuelve fácilmente y puede hallarse en las aguas de pozos profundos en concentración de hasta 3 mg/lit. También se encuentra junto con hierro en el efluente ácido de minas y de plantas metalúrgicas. Se limita en el agua potable a .05 mg/lit. En los sistemas industriales es inadecuado, particularmente en la industria textil y la de pulpa y el papel; puesto que pequeñas cantidades de manganeso, pueden provocar la obtención de productos manchados que deben eliminarse. En algunas operaciones de acabado de textiles, es necesario reducirlo a cantidades de .01 mg/lit. En el estado oxidado, el manganeso es bastante insoluble y puede reducirse su concentración fácilmente con coagulación con alumbre o mediante super-cloración. Un procedimiento convencional es la oxidación y elevación del pH prosiguendo de filtración. El manganeso también precipita con la aplicación de permanganato de potasio.

1.3.1.8 FOSFATO (PO_4^{-3})

Puesto que los componentes fosfatados se emplean ampliamente como fertilizantes y detergentes, es común encontrar fosfatos en las aguas provenientes de zonas agrícolas; en aguas de desecho doméstico, suelen hallarse en concentraciones altas en el rango de 15 a 30 mg/lit.

El problema básico generado por fosfato, es la aceleración del crecimiento de algas. El fosfato puede reducirse a niveles muy bajos mediante tratamientos con alumbre, aluminato de sodio o cloruro férrico, formando fosfato de aluminio y fosfato de hierro.

También puede precipitarse con cal a un pH por encima de 10, produciendo residuos en menos de 2 o 3 mg/lit.

Al precipitar con cal en procesos en caliente, los residuos serán de menos de .5 mg/lit. La precipitación de fosfato por lo regular da coloides que requieren ser filtrados.

1.3.1.9 ZINC (Zn^{+2})

El zinc rara vez se encuentra en concentraciones por encima de 1 mg/lit. con una concentración típica de .05 mg/lit. Su concentración para agua potable se limita a 5 mg/lit. El zinc puede eliminarse mediante el ablandamiento con cal hasta concentraciones inferiores a 1 mg/lit.

También puede eliminarse a través del intercambio catiónico en el ciclo del sodio o del hidrógeno.

1.3.2 MATERIALES QUE SE ENCUENTRAN EN CONCENTRACIONES MENORES A .01 mg/lit. Y SUS ORIGENES

1.3.2.1 ANTIMONIO

Es insoluble en sistemas acuosos que contengan CO_3OH o HCO_3 . Proviene de la lixiviación de escorias metalúrgicas. Se puede eliminar por filtración.

1.3.2.2 CADMIO

Proviene de desechos de metalizado electrolítico. Se le restringe en el agua potable a un máximo de .01 mg/lit. Puede precipitarse con carbonato o eliminarse mediante intercambio catiónico.

1.3.2.3 CROMO

Proviene de desechos de metalizado. Se le restringe en el agua potable a .05 mg/lit. Puede eliminarse reduciéndolo con SO_2 hasta Cr^{+3} o eliminarse mediante intercambio aniónico. Forma complejos con Cd y Fe.

1.3.2.4 COBALTO

Proviene de procesos de tratamiento de cobre y níquel, así como de desperdicios cerámicos. Se puede eliminar por filtración.

1.3.2.5 CIANURO

Proviene de desechos de plantas de metalizado electrolítico, plantas de coque, altos hornos y refinerías de petróleo. Se le restringe en el agua potable a un máximo de .2 mg/lit. Se puede eliminar al reducirlo por biodigestión de lodos activados. Es eliminable mediante intercambio aniónico.

1.3.2.6 MERCURIO

Proviene de desechos de la producción electrolítica de NaOH y lixiviación de cenizas. En agua potable está limitada a .002 mg/lit. Puede extraerse mediante actividad bacteriana, reduciéndolo y filtrándolo.

1.3.2.7 NIQUEL

Proviene de desecho de metalizado electrolítico, polvo o escoria de hornos eléctricos y desperdicios minerales. Puede precipitarse como hidróxido y carbonato (los precipitados de sulfuro de níquel son insolubles). Se puede eliminar también con intercambio catiónico.

1.3.2.8 ESTAÑO

Proviene de desperdicios de plateado con estaño. Se puede convertir en óxido coloidal, mediante un pH neutro en un entorno de HCO_3 o CO_3 .

1.3.2.9 TITANIO

Proviene de la formación de pozos y existe como óxido de titanio coloidal. Puede eliminarse a través de filtración.

1.3.2.10 RADIONUCLIDOS

El agua por sí misma no es radiactiva, pero puede contener elementos que lo sean. Estos entran en el ciclo del agua como desperdicios de las plantas nucleares, por procesos industriales que por algún motivo empleen radioisótopos, por lluvia contaminada por explosiones nucleares, o como subproductos del procesamiento metalúrgico de metales radioactivos. En casos excepcionales, las aguas de pozo pueden contener elementos radioactivos comunes como contaminantes naturales.

La medida usual son partes por millón (ppm). Un mol de cualquier sustancia representa su peso molecular, de forma que la concentración de un mol por litro como carbonato de calcio representa 100 g por litro como CaCO_3 ; un mol contiene 6×10^{23} moléculas.

TIPOS DE RADIACION

ALFA

Núcleo de helio, carga +2, masa 4. Puede penetrar el aire, pero la detienen los sólidos.

BETA

Electrones, carga -1, masa 0; aproximadamente 1000 veces más penetrante que la radiación alfa. Puede penetrar 2 a 3 mm en los sólidos.

GAMMA

Es similar a los rayos X. Puede penetrar el aire a los sólidos al-

rededor de 10 veces más profundamente que la radiación beta.

Cada reacción nuclear puede medirse a través de las partículas que son desprendidas. La unidad de medida es el Curie, definido como 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo.

Los niveles detectables de desintegración radioactiva están por debajo de este valor, y se expresan en microcuries o picocuries (pCi). Un picocurie es igual a 2.2 desintegraciones por minuto.

En los suministros municipales se requiere analizar y cuantificar la radiación alfa, que se supone la produce el ^{226}Ra ; la radiación beta, que se supone producida por el estroncio (^{90}Sr) y de actividad total beta.

Se considera como niveles tolerables a la exposición corpórea 40 - picocuries por litro para el ^{226}Ra y 800 para el ^{90}Sr ; en lo que se refiere a los niveles máximos para el agua potable, se permiten 3 pCi para el ^{226}Ra y 10 para el ^{90}Sr . En magnitud de partes por billón (ppb), se consideran niveles máximos para agua potable 3×10^{-6} ppb para ^{226}Ra y 5×10^3 ppb para ^{90}Sr .

Los radionúclidos más pesados son generalmente insolubles y pueden eliminarse por coagulación y filtración; los componentes solubles pueden eliminarse mediante intercambio iónico. Estos procesos se vuelven bastante complicados cuando los radionúclidos están presentes en concentraciones muy bajas, y el proceso de tratamiento tendrá que hacer reaccionar inicialmente los contaminantes más comunes, como el calcio y el magnesio en concentraciones muy superiores a los de los radionúclidos; antes de que estos últimos se puedan reducir a niveles aceptables.

1.4 VEGETALES Y ANIMALES DEL AGUA CONTAMINADA

1.4.1 PANORAMA GENERAL

Un esquema para la clasificación de los organismos contaminantes del agua es el siguiente:

- a) Plantas acuáticas
- b) Animales acuáticos
- c) Hongos, bacterias y virus

A) Plantas acuáticas:

- A.A. Espermatofitas: Plantas productoras de semilla.
- A.B. Briofitas: Musgos hepáticos.
- A.C. Pteridofitas: Helechos y plantas sin flores.
- A.D. Talofitas: Algas con escasa diferenciación estructural.

B) Animales acuáticos:

- B.A. Vertebrados: Son animales que poseen una columna vertebral o algún tipo de esqueleto, incluyendo a los peces y anfibios. Todos ellos están colocados en el género de los cordados, es decir, animales que en alguna etapa de su desarrollo poseen un notocordio o cordón posterior, un sistema nervioso dorsal central y agallas.
- B.B. Metazoarios: Con excepción de los protozoarios, son todos los invertebrados siguientes:
 - B.B.A. Moluscos: Mariscos, caracoles, babosas, lapas y caracoles de mar.
 - B.B.B. Artrópodos: Crustáceos, insectos, arañas y hemípteros.
 - B.B.C. Anélidos: Gusanos segmentados.
 - B.B.D. Nemátodos: Gusanos no segmentados o ascáridos.
 - B.B.E. Platelminfos: Lombrices planas.
 - B.B.F. Rotíferos: Animales redondos o circulares.
 - B.B.G. Poríferos: Esponjas.
 - B.B.H. Polizoarios: Animales similares a los musgos.
 - B.B.I. Celenterados: Polipos y medusas
 - B.B.J. Protozoarios: Animales primitivos microscópicos.

C) Hongos, bacterias y virus:

Estos organismos se clasifican frecuentemente como plantas debido a sus requerimientos nutricionales.

1.4.2 BACTERIAS COLIFORMES

Este grupo incluye a los organismos que se originan en el tubo intestinal de los seres de sangre caliente y a los organismos provenientes del suelo y de la vegetación; estando todas las bacterias aeróbicas

y anaeróbicas, no formadoras de esporas y gram-negativas. Se calcula que el número de organismos coliformes en los desechos orgánicos humanos se encuentra entre 10^{11} y 10^{13} por persona diariamente. Para agua potable se establece un límite no mayor de 10 coliformes por litro.

1.4.3 TERMINOS

BACTERIAS FACULTATIVAS

Son un tipo de bacterias que pueden acostumbrarse a vivir en ausencia de oxígeno o en presencia de él, usándolo en su respiración.

ENFERMEDADES QUE PROVIENEN DEL AGUA

Las bacterias patógenas que acusan ciertas enfermedades, pueden sobrevivir al caer en el agua y ser transportadas usando el agua como vehículo, de una persona a otra, entre las llamadas "enfermedades de origen hídrico biológico". Estas son:

- a) Fiebre tifoidea
- b) Disenteria
- c) Cólera
- d) Gastroenteritis

Por ello, la presencia de bacterias patógenas en el agua origina una contaminación de la misma y la hace impropia e insegura para el consumo humano.

Los individuos que beben el agua que contiene estas bacterias patógenas, pueden adquirir fácilmente, de este modo, la correspondiente enfermedad.

1.5 CALIDADES Y USOS DEL AGUA

El agua posee diferentes calidades, desde aquellas más rigurosas, desde el punto de vista de la salud humana, hasta las más dañinas; también desde un punto de vista productivo, desde las más idóneas a cada proceso industrial, a las más perjudiciales para los mismos.

Tanto las aguas para consumo humano, como para uso en sistemas industriales, buscan ciertos grados mínimos de pureza. Entendiéndose por ésta, el control y limitación de los contenidos máximos permisibles de las diferentes sustancias y propiedades que afectan adversamente a los

usos a los que se destine el líquido.

1.5.1 AGUA POTABLE NATURAL

Se usa en el abastecimiento de sistemas de agua municipal. Su pH puede encontrarse entre 6.5 a 8.5 con temperaturas máximas de 30 C. Oxígeno disuelto mínimo de 4.0 mg/lit. Límite máximo de organismos coli formes de 2 por cada 100 ml.; límite máximo de aceites y grasas de 76 mg/lit. Sólidos disueltos no mayores de 1000 mg/lit. Límite de turbiedad máximo de 10. Color máximo en la escala de platino-cobalto de 20. Ausencia total de olor y sabor. Nitrógeno y fósforo controlados para no provocar hiperfertilización. Ausencia de materia flotante y ninguna - sustancia tóxica sola, o en combinaciones con otras.

Los límites máximos permisibles de sustancias serán (en mg/lit.):

Arsénico	.05	Bario	1.00
Boro	1.00	Cadmio	.01
Cobre	1.00	Cromo	
Mercurio	.005	hexavalente	.05
Selenio	.01	Plomo	.05
Fenoles	.001	Cianuro	.20
Substancias extractables con cloroformo	.15	Detergentes y sustancias activas al azul de metileno	.5

PLAGUICIDAS:

Aldrin	.017	Clordano	.003
D.D.T.	.042	Dieldrin	.017
Endrin	.001	Heptacloro	.013
Epóxico de heptacloro	.018	Lindano	.056
Metoxicloro	.035	Fosfatos orgánicos con carbonatos	.1
Toxaleno	.005	Herbicidas	
		- totales -	.10

RADIOACTIVIDAD:

(picocuries por litro)

Beta	1
²²⁶ Radio	3
Estroncio	10

1.5.2 AGUA POTABILIZADA ARTIFICIALMENTE

Es obtenida a partir de tratamientos convencionales (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección). Su pH puede hallarse entre 6.0 a 9.0. Su contenido de organismos coliformes máximo permisible, será de 1 por cada 100 ml. Su contenido máximo permisible de grasas y aceites, será de 1 mg/lt. No debe tener ningún color artificial que no sea coagulable por tratamiento convencional, ni superior a 20 unidades de turbiedad Jackson. También todo olor y sabor deberá ser removible por tratamiento convencional, y deberá reunir además las características de sustancias tóxicas máximas permisibles correspondientes al agua potable de origen natural. Para agua bebible NMP = 20 por litro.

1.5.3 AGUA PARA FLORA Y FAUNA

pH comprendido entre 6.0 y 9.0 . 10 organismos coliformes por 100 ml., pero ningún valor mayor de 20 . Ausencia de película visible de grasas y aceites. Sólidos disueltos, no mayores de 2 mg/lt. Valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en miligramos por litro:

Arsénico	1.00	Bario	5.00
Cadmio	.01	Cobre	1.00
Cromo		Mercurio	.01
hexavalente	.1	Selenio	.05
Plomo	.1	Fenoles	1.00
Cianuro	.02		

Detergentes y sustancias
activas al azul de metileno
3.00

RADIOACTIVIDAD:

Beta	1
²²⁶ Radio	3
Estroncio 10	

1.5.4 AGUA PARA USO AGRICOLA

Un organismo coliformae /100 ml. para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo y sin un máximo establecido para todos los demás cultivos.

Valores máximos permisibles en mg. por litro de sustancias tóxicas:

Arsénico	5.00	Boro	2.00
Cadmio	.005	Cobre	1.0
Cromo		Plomo	5.00
hexavalente	5.00	Conductividad no mayor	
Selenio	.05	de 2000 microohms/cm.	

Relación de absorción de sodio menor o igual a 6 y boro menor o igual a .4 mg/lt.

1.5.5 USO INDUSTRIAL

Aquí los requerimientos varían según cada industria y sus procedimientos particulares, no existen límites estrictos, pues aquellas aguas óptimas para una cierta industria puede no serla para otra y visceversa; se buscan también en casi todos los procesos industriales, bajas cantidades de minerales disueltos y características que no fomenten corrosión. El libro de normas de la ASTM, en su parte 23 presenta con todo rigor, la determinación de los diferentes constituyentes y las características relevantes en la evaluación de la calidad de las aguas.

1.5.6 USOS DEL AGUA

La cantidad de agua o vapor que se requiere por unidad de producto en algunos de los productos industriales son:

PRODUCTO	CANTIDAD
Aceite comestible	20 lt. por litro de aceite.
Acero	100 m ³ por tonelada en industrias integradas.
Acido sulfúrico	16 m ³ por tonelada de H ₂ SO ₄ .
Aerosina	25 lts. por litro de gasolina de avión.
Alcohol	30 lts. por litro de alcohol.
Algodón teñido	200 lts. por cada Kg.
Aluminio	80 m ³ por tonelada.

Automóviles	40 m ³ por vehículo.
Azúcar de caña	4 m ³ por tonelada.
Dióxido de carbono	100 m ³ por tonelada.
Carbón	15 m ³ por tonelada de CO ₂ sólido.
	60 m ³ por tonelada.
Cemento	3 m ³ por tonelada.
Cerveza	13 lts. por litro de cerveza.
Fibra de vidrio	20 m ³ por tonelada.
Gasolina	10 lts. por litro.
Lavanderías	40 m ³ por tonelada de ropa lavada.
Leche	12 lts. por litro de leche.
Neopreno	60 lts. por cada neumático
Oxígeno líquido	20 lts. por cada m ³ de O ₂ .
	2 a 4 m ³ por tonelada.
Papel	200 a 600 m ³ por tonelada.
Queso	16 m ³ por tonelada.
Rayón	600 m ³ por tonelada de hilo.

1.6 REGLAMENTOS Y RECOMENDACIONES DEL SECTOR SALUD

1.6.1 GENERALIDADES

"Contaminante es toda materia o sustancia, o sus combinaciones, o compuestos, o derivados químicos y biológicos, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios; y cualquiera otros, que al incorporarse o adicionarse al agua puedan alterar o modificar sus características naturales, así como toda forma de energía como calor, radioactividad u otra que al operar sobre o en el agua, altere su estado normal".

Los máximos tolerables para descarga de aguas residuales son:

- I. Sólidos y sedimentables 1 ml/lt.
- II. Grasas y aceites 70 mg/lt.
- III. Materia flotante: ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm de claro libre cuadrado.

Dentro de los reglamentos en vigor, destacan las recomendaciones siguientes:

"Las aguas residuales, provenientes de usos públicos, domésticos o industriales, que descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos, mares territoriales y demás depósitos y corrientes, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y en general las que se derramen en el terreno, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- a) Contaminación de los cuerpos receptores
- b) Interferencias en los procesos de depuración de las aguas y,
- c) Modificaciones, trastornos, interferencias o alteraciones en los aprovechamientos, en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica de: las cuencas, cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional; así como, de los sistemas de alcantarillado"

"Para descargar aguas residuales, deberán construirse las obras o instalaciones de purificación que sean necesarias".

"No se permitirá la construcción de obras o instalaciones e igualmente se impedirá la operación o el funcionamiento de las ya existentes para la descarga de aguas residuales que puedan ocasionar contaminación".

"Las aguas residuales, podrán utilizarse en la industria, si se sujeten al tratamiento que requiera para el fin al que se destinen al cumplir las normas de calidad industrial y sanitarias".

1.6.2 TERMINOLOGIA

Son a menudo empleadas las siguientes expresiones en las leyes, reglamentos y recomendaciones:

AGUA RESIDUAL.- Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido la degradación en su calidad original.

AGUAS RESIDUALES DE USOS PURAMENTE DOMESTICOS.- Son las aguas residuales que se generan y provienen de las casas habitación y que no han sido utilizadas con fines industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios.

CAPACIDAD DE ASIMILACION

Es la propiedad que tiene un cuerpo receptor calculada con base en el gasto de diseño, para restablecer su calidad en forma tal, que no se altere en tiempo ni espacio, la forma de calidad establecida.

CAPACIDAD DE DILUCION

Es la cantidad de cualquier elemento compuesto o sustancia que puede recibir un cuerpo receptor en forma tal que no exceda en ningún momento, ni lugar. La concentración máxima de dicho elemento, compuesto o sustancia establecida en la norma de calidad del cuerpo receptor correspondiente, tomando como base el gasto normal de diseño o volumen normal de diseño.

CONDICIONES PARTICULARES DE LAS DESCARGAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Son el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que deberán satisfacer las aguas residuales antes de su descarga a un cuerpo receptor.

CUERPO RECEPTOR.- Es toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que son susceptibles a recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

DESCARGA.- Es el conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en un cuerpo receptor.

ESTIAJE.- Es el trazo de río bajo la influencia de las mareas y que está limitada en longitud hasta la zona donde la concentración de cloruros es de 250 mg/lt., o mayor durante los gastos de estiaje.

TRABAJOS INTERNOS O EXTERNOS

Son los que comprenden a las plantas de tratamiento de agua.

TRATAMIENTO O PURIFICACION DE AGUAS RESIDUALES

Es el proceso o serie de procesos a los que se someten las aguas residuales con objeto de disminuir o eliminar características perjudiciales de los contaminantes que éstas contienen.

1.7 NORMAS U. S. P. H. S.

El servicio de salud pública de Estados Unidos (United States Pu-

blic Health Service), posee entre otras, las siguientes normas:

1.7.1 TOMA DE MUESTRAS

POBLACION	NO. MINIMO MENSUAL DE MUESTRAS
2,500	1
10,000	7
25,000	25
100,000	100
1.000,000	300
2.000,000	390
5.000,000	500

1.7.2 CONDICIONES BACTERIOLOGICAS

De todas las fracciones usuales de 10 ml. que se examinen mensualmente, no más de un 10% deben mostrar la presencia de organismos del grupo coliforme. La medida aritmética de todas las sustras examinadas cada mes, no habrá de exceder a un organismo coliforme en 100 ml.

1.7.3. CARACTERISTICAS FISICAS Y MOLECULARES.

La turbidez del agua no debe exceder de 10 ppm (escala de sílice), ni el color, ser superior de 20 (escala normal de cobalto). El agua suministrada no deberá tener ni sabor ni olor molestos.

El agua no debe contener una cantidad excesiva de sustancias minerales solubles, ni de cualquiera de los compuestos químicos utilizados en el tratamiento.

La presencia de plomo (Pb), en cantidad superior a .1 ppm, de fluoruros en más de 1.5 ppm, de arsénico en más de .05 ppm, constituye una base para no autorizar el suministro o suspender la concesión. Las sales de bario, el cromo hexavalente, los glucósidos metálicos pesados y otras sustancias que produzcan efectos fisiológicos deletéreos, no deben adicionarse en el sistema de suministro con el propósito de realizar un tratamiento.

Cuando existan las siguientes sustancias químicas en las aguas naturales o tratadas, es preferible que su concentración no supere la que a continuación se consigna:

Cobre (Cu)	3 ppm
Hierro (Fe) y manganeso (Mn) juntos	.3 ppm
Magnesio(Mg)	125 ppm
Zinc (Zn)	15 ppm
Cloruros (Cl)	250 ppm
Sulfatos (SO ₄)	250 ppm
Compuestos fenólicos	.001 ppm

Sólidos totales: no se deben exceder de 500 ppm para las aguas de buena calidad y excepcionalmente se permiten hasta 1000 ppm de sólidos totales.

Para las aguas tratadas químicamente, como por ejemplo, las ablandadas con cal, zeolitas u otro cambiador de iones, o por cualquier otro procedimiento, se exigiran las siguientes condiciones:

La alcalinidad en CaCO₃ determinada con la fenoftaleína, no debe superar 15 ppm más .4 veces la alcalinidad total. Esta condición estando limitado el pH admisible a 10.6 a temperaturas de 25 °C.

La alcalinidad normal debida a los carbonatos no debe ser superior a 120 ppm.

Si debido al tratamiento químico se produce un exceso de alcalinidad, la alcalinidad total no debe ser superior al valor de la dureza en más de 35 ppm (calculada como CO₃Ca).

Las siguientes sustancias no deberán exceder los valores indicados:

	mg/lit.
Alquilbencensulfonatos (ABS) producto de sabor	.5
Extracto de carbón en cloroformo (CCE) productos de sabor, posiblemente tóxicos	.2
Selenio	.01
Plata	.05

2. PROCEDIMIENTOS FISICOS Y TECNICAS GENERALES EN EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS

2.1 LIMPIEZA PRIMARIA

2.1.1 Principios Básicos.

El primer paso para el tratamiento de muchas aguas es la separación de las partículas más gruesas de materiales flotantes o en suspensión. Para evitar que puedan obstruirse los conductos o las obras de tratamiento se utilizan rejillas, que también tienen por finalidad interceptar materiales flotantes no convenientes.

El uso de rejillas finas puede sustituir a la sedimentación, cuando se disponga de espacio suficiente para establecer tanques y sólo se desee eliminar una parte pequeña de los materiales en suspensión.

Estudiando costos, se ha comprobado que es más económica la separación mecánica mediante cribas o rejillas que la sedimentación.

2.1.2 TIPOS DE REJILLAS O CRIBAS

Algunos tipos clásicos de éstas son:

Rejilla de barras o rastrillo.- Está formada por barras paralelas.

Rejilla de tela metálica.- Está formada con una malla o alambrada de fábrica.

Parrilla.- Consta de dos series de barras paralelas en el mismo plano que se cortan en ángulo recto.

Rejilla de banda.- Consiste en una banda o cinta sinfín perforada, que pasa sobre dos cilindros, uno superior y otro inferior.

Rejilla de lámina perforada.- Está hecha con una banda sinfín de láminas perforadas y es semejante a la rejilla de banda.

Rejilla de alas.- Tiene aberturas radiales espaciadas uniformemente que giran sobre un eje horizontal.

Rejilla de disco.- Consta de un disco circular perforado con o sin centro.

Rejilla o criba de tambor.- Es un cilindro o cono de lámina perforada o de tela metálica que gira sobre un eje horizontal.

Rejilla o criba de compuerta.- Es parecida a la rejilla de alas, pero con

alas semicirculares.

Rejilla de jaula.- Consiste en una caja rectangular con las paredes laterales formadas por barras paralelas, y sin pared en la parte de aguas arriba de la corriente. El techo y el fondo puede ser de lámina de acero continua o perforada. No conviene que tengan barras en el fondo o en el techo porque se hace difícil la limpieza.

Las rejillas o cribas se pueden clasificar en fijas, móviles y sóviles.

Fijas: Se encuentran en una misma posición permanente y tienen que limpiarla haciendo uso de rastrillos o dientes que se hacen pasar entre las barras.

Movibles: Son estacionarias, mientras están funcionando, pero se pueden desmontar, sacándolas para fines de limpieza.

Móviles: Están en movimiento continuo mientras funcionan, y se limpian por sí mismas durante su propio funcionamiento.

Rejillas de barras fijas.- Pueden tener las barras verticales o inclinadas, y rara vez se construyen con las barras horizontales.

Algunas veces se usan cribas móviles, con una caja o jaula en el fondo. El fondo debe ser un material sólido para evitar que las partículas pasen a través de él, cuando se desmonta la criba para limpiarla. Las rejillas de tela metálica sólo deben usarse en casos especiales, debido a lo difícil de su limpieza.

Las cribas que tengan que desmontarse para su limpieza, deben disponerse por pares, con el fin de que una pueda estar funcionando, mientras se proceda a limpiar la otra. Las cribas móviles no son aconsejables para instalaciones pequeñas, debido a que el esfuerzo necesario para limpiarlas y volverlas a colocar, es mayor que el que se requiere para limpiarlas con rastrillos. En las instalaciones grandes, los rastrillos manejados a mano son insuficientes para la limpieza. Las rejillas finas se limpian algunas veces con dientes móviles, sujetas a cadenas sin fin. Los dientes pasan entre las barras paralelas y arrancan los materiales detenidos por la rejilla.

Si la cámara de la rejilla de una instalación pequeña, es demasiado profunda para que el acceso a ella sea fácil, puede usarse una jaula

o caja móvil.

Las cribas móviles suelen ser de tela metálica fina o de lámina perforada. Se mantienen en movimiento a fin de facilitar una limpieza continua. Se limpian con cepillos, con chorros de aire, de agua o de vapor.

La palabra criba no es estrictamente aplicable a una serie de barras para lelas, a la que es más propio llamar reja o rastrillo. Pero la palabra criba- "Screen", se ha generalizado y suele usarse indistintamente.

2.1.3 CANTIDAD DE DESPERDICIOS SÓLIDOS RETENIDOS

La cantidad de desperdicios sólidos retenidos por las rejillas o cribas, varía entre 4 a 240 lt. por cada 1000 m³ de aguas sucias cribadas y está en relación con la naturaleza de las aguas y el tamaño de las aberturas de la criba. La naturaleza de las aguas sucias y el tamaño de las aberturas, afecta la cantidad de los materiales sólidos retenidos. Estudios extensos de instalaciones de cribado de aguas sucias, han demostrado que con aberturas entre 2.5 y 5 cm. se retienen de 2 a 33 litros por cada 1000 m³ cribados, que tienen un peso aproximado de 770 a 960 gramos por litro, y, con cribas pequeñas dotadas de aberturas de 1 a 3,2 mm. se retienen de 41 a 260 litros por cada 1000 m³ cribados, con un peso de 899 a 1052 gramos por litro y con un contenido de sólidos evaporables del 70 al 90%. En el caso del uso de cribas con diámetro de abertura muy pequeña. puede haber una reducción hasta del 30% sólidos en suspensión.

2.1.4. NATURALEZA DE LOS DESPERDICIOS RETENIDOS.

Los desperdicios retenidos, antes de ser desecados, contienen de 75 a 90% de humedad y pesan de 647 a 960 gramos por litro. El peso de desperdicios desecados varía entre 1.28 y 51.2 Kgs. por cada 1000 m³. Los desperdicios retenidos están formados por: trapos, papel, trozos de caucho, trozos de alimentos, madera, plásticos y otros productos orgánicos altamente expuestos a la putrefacción que requieren de una rápida eliminación.

2.1.5 EVACUACION DE LOS DESPERDICIOS RETENIDOS POR LAS CRIBAS

Los residuos retenidos por las rejillas o cribas, pueden ser quemados, enterrados tratados por digestión, descargados en grandes masas.

de agua o triturados y devueltos a las aguas negras. El enterrado sólo se practica en instalaciones pequeñas y no siempre da resultados satisfactorios. Es necesario enterrar los desperdicios a bastante profundidad para evitar olores; pero no tanta como para que impida la acción bacteriana.

Se ha comprobado que la quema o incineración es un método muy satisfactorio para la eliminación de los desperdicios retenidos por las cribas. Antes de incinerarse los residuos, se les quita parcialmente el agua, comprimiéndolos con un rodillo o una prensa hidráulica. Con presiones de tan solo 25 kg/m^2 , se pueden reducir contenidos de humedad hasta el 55; también se pueden centrifugar los materiales retenidos y obtener eliminaciones de humedades similares. Los desperdicios se incineran luego, a una temperatura de 675 a 760 °C. en hornos de gas, petróleo o carbón, con o sin una mezcla de petróleo o carbón. Por cada kg de materiales incinerados con un 60% de humedad, se necesitarán entre 4,000 y 7,000 B.T.U. de calor adicionales. De allí la utilidad de reducir previamente el contenido de humedad.

2.1.6 COLIENDA DE LOS MATERIALES RETENIDOS POR LAS REJILLAS O CRIBAS

Esta es una técnica bastante practicada, seguida de la devolución de los materiales a la corriente para su tratamiento posterior. Los inconvenientes que ofrece el tratamiento son: un mayor riesgo de formación de espuma y la tendencia hacia la fermentación ácida de los tanques de digestión.

Un molino común en grandes instalaciones es el de tipo de martillo, con capacidades de trituración de materiales húmedos de 2 toneladas por minuto. Un triturador, es un molino que actúa por medio de cuchillos cortantes, para pulverizar el material sólido.

Los trituradores reducen los sólidos hasta partículas con diámetro de $\frac{1}{8}$ in.

2.1.7 PASTRILLOS O REJILAS LIMPIADAS A MANO

Los pastrillos o rejillas fijas, limpiadas a mano, se construyen de tal modo que los dientes de un instrumento diseñado especialmente, se adaptan entre las barras, sin golpear los soportes de las barras y los espaciadores, de tal modo que el operador pueda mover los materia-

Los acumulados hacia arriba y hacia abajo, para amontonarlos en la parte superior de la rejilla y extraerlos. El piso donde se acumulan los materiales detenidos por la rejilla, debe dotarse de un drenaje por medio del cual pueda devolverse agua a la corriente. También ha de preverse un fácil manejo para la rápida evacuación de los materiales.

2.1.8 REJILLAS O RASTRILLOS LIMPIADOS MECANICAMENTE

Los rastrillos o rejillas que se limpian mecánicamente, constan de barras fijas que se limpian por medio de rasquetas sujetas a una cadena en fin y otro tipo de mecanismos. El rastrillo descarga los materiales en un receptáculo desde donde se puede conducir a un lugar de evacuación, o pueden ser conducidos desde los rastrillos a un triturador o molino, que revuelve los materiales después de triturarlos a la entrada de la instalación de tratamiento. Existen dispositivos regulados por flotadores, que hacen funcionar automáticamente el mecanismo de la rejilla cuando se ha acumulado una cantidad de determinados materiales capaces de producir una carga diferencial predeterminada, - aguas abajo y aguas arriba de la rejilla.

El funcionamiento continuo del mecanismo de limpieza, mantiene limpia la rejilla y evita las fluctuaciones de escurrimiento que de otro modo obstruirían la rejilla. Sin embargo, consume más energía y produce mayor desgaste del mecanismo. La práctica más común es el uso de un funcionamiento intermitente, regulado automáticamente.

No siempre los mecanismos de limpieza son lo más adecuado en instalaciones pequeñas; y en instalaciones grandes suelen ser muy costosos en su adquisición y mantenimiento.

2.2. DESARENADO

Las aguas residuales contienen una cierta cantidad de arena y gravilla - arrastrada por las aguas de lavado de las calles, o en aguas naturales por el arrastre de la corriente de las partículas que halla a su paso.

La cantidad de gravilla y arena es mayor cuando mayor es el sistema receptor de agua y su eliminación es necesaria, pues puede dañar bombas, acumularse en tuberías, válvulas, tanque de sedimentación, u originar problemas en los tanques digestores y conducciones de barro, en caso de existir en el proceso de acondicionamiento estos dos últimos.

2.2.1. CÁMARAS DESARENADORAS

Una cámara desarenadora es un conducto ensanchado o un tanque en el que se regula la velocidad del escurrimiento en su longitud, de tal modo que sólo se depositarán los materiales de más peso, como la gravilla, arena y arenilla; con un tamaño de 2 mm o más, mientras que todo material más ligero pasa a los tanques de sedimentación y al proceso de coagulación-floculación-clarificación.

La eliminación de la arenilla es necesaria para evitar que se obstruyan los conductos, proteger las bombas y en las diferentes piezas móviles, así como el equipo de las plantas de tratamiento de aguas. Son muchas las condiciones que afectan a la cantidad de arenillas que puedan esperarse. Pueden esperarse cantidades entre 8 a 15 lbs. por cada 1000 m³; han existido casos de hasta 64 lbs. por cada 1000 m³. En estudios extensivos se observan valores de 4 a 30 lbs. por cada 1000 m³ en sistemas sanitarios y pluviales, y de 6 a 38 lbs. por cada 1000 m³ para sistemas independientes. El material depositado suele contener suficiente materia capaz de descomponerse.

Para eliminar arenas por gravedad, la velocidad de escurrimiento a través de una cámara desarenadora horizontal, debe estar comprendida entre 15 y 30 cms por segundo. La velocidad crítica necesaria para que se inicie el movimiento de un material no uniforme y pegajoso como la arenilla, está dada por la ecuación:

$$V_c = 5 (S - 1) D$$

Donde: V_c = velocidad crítica (centímetros/seg.)

S = densidad relativa (adimensional)

D = diámetro de las partículas (centímetros)

Las cámaras desarenadoras se pueden limpiar a mano, mecánicamente o hidráulicamente. Para la limpieza mecánica se usan cuernaras, transportadores de banda y eyectores hidráulicos.

La capacidad de una cámara desarenadora está en proporción directa con el área de la superficie, cualesquiera que sean las relaciones de anchura, profundidad y velocidad. Cuando se diseñan cámaras desarenadoras, se conoce generalmente el gasto de escurrimiento Q y la velocidad media V . Suponiendo que el área transversal sea rectangular, con anchura

ra N , profundidad d y longitud l :

$$wd = Q/V \quad \text{y} \quad wl = A$$

De este modo hay dos ecuaciones con 3 incógnitas: w , d , y l . Pueden elegirse cualquiera de ellas para dar dimensiones razonables a la cámara. Los períodos de retención recomendados varían entre 30 y 60 segundos.

Para un rendimiento satisfactorio es conveniente la eliminación y lavado continuo de las partículas de arena depositadas. Cuando el volumen retenido sea grande, puede ser adecuado un transportador de cucharas, los dispositivos a base de chorros de agua tienen problemas por la obstrucción de las boquillas.

Aunque es conveniente mantener una velocidad constante a través de cualquier cámara desarenadora, lo es especialmente en las cámaras en las que no se elimina la arenilla de un modo continuo. En tales casos, deben establecerse dos o más cámaras en paralelo.

2.2.2 ANALISIS PREVIOS A LA FABRICACION

Un desarenador debe eliminar la gravilla y la arena, tan sólo una mínima proporción de los sólidos orgánicos en suspensión. La experiencia ha demostrado que la eliminación de partículas de gravilla, arena y arenilla evitará muchas dificultades. A 10°C , las partículas de estos materiales sedimentan a unos 20 mm. por segundo; y si la temperatura es de 20°C , lo hace a unos 27 mm por segundo. El tiempo de retención en el desarenado, debe ser lo suficientemente largo para permitir que las partículas de arenilla desciendan desde la superficie hasta el fondo. Las velocidades medias no se han encontrado que deban ser inferiores a 25 cms por segundo, salvo en casos especiales cuando se adaptan velocidades con esta magnitud mínima, se requiere una longitud de cámara de unos 9 cm por cada centímetro que las partículas de arenilla de unos .05 mm, recorran en su descenso desde la superficie hasta el fondo. Es necesario evitar remolinos y otras perturbaciones, lo que se consigue dando forma curva a los lados del canal en los cambios de dirección, para evitar cambios bruscos en el flujo de la corriente. El caudal debe mantenerse lo más constante posible, para con ello evitar variaciones de la velocidad dentro de las cámaras desarenadoras.

Es recomendable construir varias cámaras en paralelo e ir las poniendo en servicio según el crecimiento en el caudal, en vez de aumentar los caudales y consecuentemente las velocidades en los desarenadores que ya se encontraban trabajando.

Los fondos de desarenadores pueden disponerse en embudo, colocando tubos en los puntos bajos para extraer la gravilla. Es necesario disponer válvulas o compuertas a la entrada y salida de los líquidos para cerrarlas antes de la limpieza.

2.2.3 DESARENADORES QUE EMPLEAN AIRE.

Los desarenadores que emplean aire y se ven poco afectados -- por las fluctuaciones de caudal, son recomendables para instalaciones pequeñas. El aire ascendente origina una corriente de espiral que acelera el descenso de las arenillas. el fondo se encuentra inclinado hacia una tolva, Los períodos de retención son de 1 a 2 minutos y el aire se suministra a razón de unos 290 litros por minuto y por metro cuadrado de superficie del tanque. El uso de aire en desarenadores facilita la sedimentación posterior de lirios, arcillas y fangos.

2.2.4 OTROS DESARENADORES.

El desarenador de vórtice tiene un propulsor que origina una circulación vertical que, ayudado por la corriente en espiral causada por la entrada tangencial del agua, lleva la arena a una tolva desde la que se acarrea a un recipiente final mediante un transportador helicoidal y otro de cangilones. Una variante de este tipo utiliza un soplador de aire que lo descarga en el que tanque junto al agitador propulsor.

Los desarenadores con vertedor proporcional o con regulador emplean para la evacuación de la arena, mecanismos que poseen alta movilidad por cadenas sin fin, las cuales elevan la arena hasta un depósito. Los desarenadores que emplean brazos giratorios en tanques de planta cuadrada, tienen brazos que llevan la arena hacia unode los lados en el cual, unos rastrillos la llevan hacia arriba a través del agua hasta descargarla en una tolva o en recipientes situados en el exterior del tanque.

2.2.5 DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DE FLUJO.

La eficiencia de una cámara desarenadora depende mucho de la localización del tubo de entrada y de la dirección de la velocidad de llegada. Para lograr los mejores resultados, el tubo de entrada debe localizarse sobre la línea central del canal de la cámara desarenadora y la velocidad de entrada debe actuar a lo largo del eje de la cámara. Aunque esto es lo más recomendable, en ocasiones cuando hay dos o más cámaras en paralelo, será necesario dirigir el flujo a todo lo que éste entre recto y sobre el eje longitudinal de la cámara. Algunas cámaras desarenadoras descargan sobre un vertedor de desasias, que parte de un tubo sumergido que asciende y sale a través de las paredes de la cámara, pero el tipo más conveniente para la regulación de la descarga, es aquel que permite una velocidad uniforme de escurrimiento a través de la cámara, cualquiera que sea el gasto de dicho escurrimiento. Entre este tipo de vertedores se encuentran el de escurrimiento proporcional y el medidor Parshall.

2.3. SEDIMENTACION

2.3.1. GENERALIDADES

La erosión arrastra considerables cantidades del suelo y restos de rocas a las corrientes. Algunas de las partículas erosionadas y los desechos de la vida y actividades humanas son lo suficientemente pesadas para sedimentarse cuando las aguas con velocidad llegan a un estado de reposo. Cuando las aguas de los ríos están en reposo en los estanques, lagos y depósitos, la gravedad arrastra hacia el fondo las partículas finas y ligeras, en donde se acumulan. La clarificación natural del agua por sedimentación de la materia tanto orgánica como mineral, es un componente importante de la autopurificación del agua.

Una de las operaciones útiles más usadas en el tratamiento de aguas y aguas residuales, es la sedimentación o decantación por medio de asentamiento gravitacional de las partículas en suspensión más pesadas que el agua.

Cuando las impurezas se separan de un fluido que las contiene en suspensión (sólo mediante la acción de fuerzas naturales como por ejemplo la gravedad), la operación recibe el nombre de sedimentación simple.

Cuando se agregan productos para provocar o favorecer la unión y asentamiento de la materia finamente dividida, substancias coloidales y sólidos grandes, la operación se denomina coagulación. Cuando los productos se agregan para separar de la solución las impurezas disueltas, la operación se describe como precipitación química.

Según las propiedades del agua que se sujeta a tratamiento, se incluyen tanques en las plantas modernas para purificación de agua para la remoción de:

1. Sedimentos que se asientan con facilidad
2. Impurezas coaguladas, como color y turbidez
3. Impurezas precipitadas, como la dureza y el hierro.

Los tanques de sedimentación pueden ir precedidos de cámaras de reacción y floculación, pero en algunas ocasiones no se observa la rígida separación de las funciones de coagulación o precipitación y de sedimentación. En estos casos, el mismo tanque sirve para ambos propósitos. Los tanques de clarificación de flujo ascendente son ejemplos de este procedimiento de doble propósito. Las aguas de río que transportan cargas fuertes de lodo se sujetan con frecuencia a sedimentación antes y después de la coagulación o precipitación.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, la sedimentación constituye la función a que se destinan:

1. Las cámaras desarenadoras que separan los sólidos inherentes.
2. Los tanques sedimentarios primarios, o preliminares, que colectan gran parte de la carga de impurezas en suspensión, o de la carga de impurezas que han tomado la forma de sólidos en suspensión, antes de la descarga del efluente clarificado a las aguas receptoras o como etapa previa a su tratamiento posterior.

3. Los tanques sedimentadores secundarios o finales que colectan las substancias convertidas en sólidos sedimentables, o que se han acondicionado como tales en alguna otra forma mediante procesos de tratamientos físicos, químicos, biológicos y otros procesos afines. La adición de agentes coagulantes o precipitantes a las aguas residuales puede proceder a la sedimentación, mejorando así su eficiencia.

En la actualidad, la operación de los tanques de sedimentación mediante el sistema de llenado y vaciado alternados, se emplea en la preparación de aguas para alimentación de calderas y el tratamiento de residuos industriales con descarga intermitente. En el caso de agua potable en sistemas municipales, se utilizan casi exclusivamente tanques de flujo continuo.

2.3.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA SEDIMENTACION

La sedimentación con fines a la clarificación y concentración de sólidos en el seno de los líquidos, es el procedimiento de tratamiento de aguas y de aguas residuales más comúnmente empleado. De allí la importancia de la comprensión de los principios fundamentales en los que se apoya la teoría de la sedimentación.

Una partícula en el seno de un fluido de menor densidad y en reposo, se mueve verticalmente hacia abajo debido a la gravedad y se irá acelerando, hasta que la resistencia de rozamiento con el fluido se acerque al valor de la fuerza que le impele hacia abajo y posteriormente la velocidad de descenso permanecerá constante.

Esta velocidad final constante es la denominada "Velocidad de Sedimentación". La ley de Newton para la resistencia del rozamiento o el avance por arrastre es:

$$FD = C_D \cdot A \cdot \frac{\rho \cdot V_R^2}{2} ,$$

en la cual FD es la fuerza de resistencia al avance; C_D es el coeficiente de rozamiento, relacionando con la inercia de la partícula y con la viscosidad del agua; A es la superficie proyectada de la partícula; V_R es la ve

locidad relativa entre las partículas y el fluido, y "Ro" es la masa específica del fluido.

La fuerza que se le impele es:

$$F_i = ("R_1" - "Ro") g V ,$$

en la que F_i es el peso de la partícula; " R_1 " y " Ro " son las masas específicas respectivas de la partícula y el fluido; g es la aceleración de la gravedad y V es el volumen de la partícula.

Siendo la superficie proyectada de una esfera: $(\pi \times d^2) / 4$ e igualando las fuerzas de las ecuaciones tendremos entonces:

$$V = \left(\frac{4}{3} \right) \times \frac{g}{C_D} \times \left(\frac{d}{Ro} \right) \times (R_1 - Ro)^{1/2} ,$$

en la que V es la velocidad de sedimentación de una partícula esférica y d es su diámetro.

Velocidades de sedimentación en agua fría:

Diámetro:	1	.8	.6	.5	.4	.3	.2	.1	.08
(mm)									
Velocidad:	100	83	63	53	42	32	21	15	8
(m/s)									

Al emplear la fórmula de la velocidad es necesario introducir el número de Reynolds, que relaciona la inercia de la partícula con la viscosidad del medio y se expresa: $R = Vd \cdot Ro/\mu$, en la que R es el número de Reynolds; V es la velocidad de sedimentación; d es el diámetro de la partícula; Ro es la densidad del fluido y μ es la viscosidad absoluta del mismo. La ley de Stokes para la resistencia al avance de esferas pequeñas que sedimentan en el seno de un fluido viscoso, despreciando las fuerzas de inercia es:

$$FD = 3 \pi \mu Vd .$$

siendo el coeficiente de rozamiento C_d en la ley de Newton.

$$\frac{2d\mu}{Vd \cdot Ro} = \frac{24}{R}$$

$$v = \frac{1}{18} \frac{g}{\mu} (R_1 - R_0) d^2$$

El rango donde la viscosidad es grande en relación a la inercia, es aquel en que hay partículas menores a 1 μ .

En general, las partículas que se eliminan por sedimentación en el tratamiento de agua y de las aguas residuales, no son esferoidales.

2.3.2.1 TIEMPO DE RETENCION TEORICO

Es aquel durante el cual el agua permanece teóricamente en el tanque. Un tanque de sedimentación ha de facilitar un tiempo de retención teórico medio de 2 horas para un agua residual.

2.3.2.2 TIEMPO DE RETENCION PRACTICO

Es el tiempo que el agua requiere realente para pasar a través de tanques sedimentadores. La aproximación entre éste y el tiempo teórico depende del diseño del tanque. El tiempo de retención práctico se determina añadiendo cloruro sódico al agua en el momento en que entra y determinando el contenido del mismo en el agua efluente.

Los valores de estas determinaciones se representan gráficamente resultando una curva que se eleva por encima del contenido normal de cloruro del líquido y que luego cae de nuevo al valor normal. Generalmente se toma como tiempo de retención práctico, el que transcurre desde la edición de la sal hasta que el agua, en el centro de gravedad de la superficie libre, llega a una concentración superior al contenido normal de cloruro. Un tanque correctamente proyectado debe facilitar un tiempo de retención práctico que sea, por lo menos, de un 30% del tiempo de retención teórico.

2.3.3 OBSERVACIONES PARA EL DISEÑO DE TANQUES DE SEDIMENTACION

Los tanques de sedimentación bien diseñados son aquellos en los que la dirección de la corriente es horizontal y la velocidad es uniforme en

todas las partes de la zona de sedimentación, durante un tiempo igual al de retención teórico. La concentración de las partículas en suspensión para cada tamaño es la misma en todas las partes de la sección recta-vertical, al final de la conducción de entrada.

El tiempo teórico de retención del tanque ha de ser suficientemente largo para permitir que las partículas más pequeñas se sedimenten, desde la superficie hasta el fondo.

La proporción de eliminación de partículas "R" con velocidades de sedimentación mayores a la cual circula el líquido dentro del tanque es:

$$"R" = \frac{V_1}{V} = \frac{V_1 BL}{Q}$$

en donde R es el régimen de decantación o caudal de descarga del tanque por unidad de superficie plana; L la distancia del tanque; B su ancho y V_1 la velocidad de sedimentación de alguna partícula a la cual se le aplique la ecuación anterior.

Todo esto nos lleva a la conclusión de que para un caudal dado Q, cuanto mayor sea la superficie horizontal del tanque, tanto menor será V, y se eliminarán partículas de tamaño más pequeño, resultando el tanque más eficaz.

Teóricamente la profundidad del tanque no tiene efecto sobre la eficacia del mismo, pero a modo práctico si es importante. La importancia de los bajos valores de velocidad de sedimentación ha llevado al proyecto de tanques subdivididos en su dimensión horizontal, aumentando así efectivamente el área superficial y la distancia recorrida mientras se mantiene eficacia elevada.

Algunos tanques son circulares o cuadrados con entradas centrales y corriente radial. En este caso la velocidad horizontal V disminuye al aumentar la distancia a la entrada. Sin embargo, los valores de V, g, V_1 , permanecen iguales y la trayectoria que sigue la partícula se curva hacia abajo.

Los tanques verticales no eliminan partículas con velocidades inferiores

res a la velocidad de decantación. La zona de fangos se recomienda que sea pequeña, cosa que favorece a los tanques que trabajan con eliminación continua o frecuente de fangos, en comparación con aquellas que se purgan a largos intervalos.

La materia en suspensión en agua turbia esta constituida por fango, sílice y arcilla, todos finamente divididos, con densidades que varían desde 2.65 para la arena, hasta 1.03 para las partículas de fango floculado. La materia orgánica en suspensión tiene una densidad de 1.0 a 1.5.

2.4 FILTRACION

El objetivo de los filtros es eliminar sólidos en suspensión. A las velocidades generalmente empleadas en los filtros granulares para agua, el flujo es normalmente laminar y obedece a la ley de Darcy: $V = Ks$, en donde V es la velocidad de aproximación de agua sobre el lecho filtrante; $s = h/l$ es la pérdida de carga unitaria; h , es la pérdida de carga total; l , la profundidad del lecho; k , es el coeficiente de permeabilidad de Darcy.

Los gastos unitarios de operación para filtros de arena de acción lenta, van de 1.2 a 3.7 litros por minuto por m^2 de superficie filtrante y en filtros de arena de acción rápida es de alrededor de 8l lt/min. por m^2 .

Los filtros de presión operan con gastos unitarios muy similares a los de arena de acción rápida y los de tierra distosa tienen gastos de 8l lt/ m^2 por m^2 .

El número de filtros rápidos de arena necesarios (n) para cada planta, se puede obtener por la fórmula:

$$N = 1.38 \sqrt{Q}$$

siendo Q el volumen a filtrar en miles de m^3 por día. El mínimo se recomienda que sea de dos unidades.

El número de filtros lentos es función del número de habitantes de la población por servir de agua;

Núm. de habitantes	Núm. de filtros
2,000	2
10,000	3
60,000	4
200,000	6
400,000	8
600,000	12

2.4.1 FILTROS DE ARENA DE ACCION RAPIDA

También son llamados filtros mecánicos de arena. La velocidad de filtración es unas 40 veces mayor que la de los filtros lentos. La denominación "filtros mecánicos", proviene del hecho de que la limpieza de los lechos se realiza con equipo mecánico.

Un filtro rápido por arena consiste en un lecho de arena relativamente gruesa, que atrapa previamente los sólidos coagulados que no han sido eliminados en la sedimentación. El "tamaño efectivo" de la arena es usualmente de .35 a .55 mm, mientras que el de los filtros lentos es de .25 a .35 mm. El lecho de arena debe ser suficiente para impedir que los flocúlos penetren a través de él. En estos filtros deben proveerse los medios para limpiar la arena a intervalos periódicos, de modo que se mantenga limpia.

El espesor del lecho de arena es generalmente de 60 a 75 cms y descansa sobre 25 o 50 cms de grava graduada, o de algún tipo especial de base de filtración. Además de la grava o junto con una base especial para filtración, se provee un sistema de desagüe inferior que sea capaz de captar el agua filtrada y de distribuir uniformemente el flujo de agua cuando el filtro se está limpiando o retrolavando. La disposición más común es la del sistema de colector central ramificado. El colector central es un tubo de diámetro grande al que se han conectado a ambos lados tubos de menor diámetro o ramificaciones, a espacios pequeños y que se extiende horizontalmente dentro de la grava.

A últimas fechas para substituir el sistema colector y la grava, se emplean falsos fondos de placas porosas sobre los cuales descansa directamente la arena.

2.1.2 LAVADO DE FILTROS DE ARENA DE ACCION RAPIDA

La limpieza se hace cuando la columna de agua que representa las pérdidas de presión sea igual a la distancia que existe entre la superficie del agua dentro del filtro y el fondo de la capa de arena, o cuando el efluente ya no sea satisfactorio. Un filtro se retrolava cerrando primero la línea del efluente, abriendo la válvula de descarga al drenaje y pasando después agua limpia a través del sistema de desagüe inferior del filtro en dirección inversa y a una velocidad de 7 a 8 veces la de filtración. El agua sucia que sale por la parte superior del filtro es recolectada por medio de colectores de agua de lavado y descargada al drenaje.

Después de suspender la operación del filtro, la superficie del agua en él debe bajarse hasta el borde de los colectores de agua de lavado. Una vez cerradas las válvulas que sea necesario y abierta la válvula hacia el drenaje, debe inyectarse gradualmente el agua de lavado hasta que se alcance el gasto deseado, pues de lo contrario, se crean disturbios en la arena y en la grava en aquellas secciones donde la arena se ha pegado con el material floculento y éste se desprende repentinamente o se mueve toda la masa pegada. El gasto adecuado para limpiar un filtro por retrolavado es aquel que expande el lecho de arena hasta el grado en que las gravas de arena no quedan en contacto continuo entre sí, sino que vibran hacia adelante y hacia atrás, haciendo que se desprenda de ellos cualquier suciedad que se haya adherido a su superficie. El gasto debe ser también suficiente para arrastrar verticalmente las pequeñas partículas de suciedad hasta el colector de agua de lavado.

En algunos filtros, como auxiliar al retrolavado, puede ponerse aire comprimido dentro del sistema de desagüe inferior al mismo tiempo que se conecta el agua de lavado con flujo inverso.

2.4.3 FILTROS DE ARENA DE ACCION LENTA

Son útiles para aguas con turbiedades de 10 a 30 ppm., en donde se pueden lograr disminuciones de color de hasta el 40%. La cantidad de agua filtrada se limita a $4.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ en las superficies de los lechos de arena.

Los filtros lentos de arena consisten en estanques de concreto cubiertos, de unos 3 o 4 mts de profundidad y en cuyo fondo se colocan líneas de tubos para drenar; arriba de los tubos de drenaje se ponen unos 30 a 45 cms de gravas, clasificadas por tamaños de lo más grueso en el fondo, a lo más pequeño arriba, y encima se colocan unos 90 cms de arena.

La calidad y el tamaño de las partículas del material filtrante son de suma importancia.

La arena debe estar libre de toda arcilla, polvo, raíces u otras impurezas, y para todo propósito práctico, debe ser insoluble en ácido clorhídrico diluido. Para que se pueda garantizar una determinada eficiencia de la filtración y ciertas características hidráulicas, el tamaño de las partículas y la uniformidad de las mismas debe estar dentro de límites determinados. Se define como "tamaño efectivo" al tamaño de abertura que deje pasar el 10%, en peso de los granos de arena en cuestión. Se llama "coeficiente de uniformidad" la relación que existe entre los tamaños de mallas que dejan pasar un 60 y un 10%. Los filtros lentos de arena deben tener un tamaño efectivo de .25 a .35 mm, y un coeficiente de uniformidad entre 2.5 y 3.5. La grava debe tener también la calidad requerida y variar de unos 5 cms en el fondo hasta unos 3 mm, o menos, en la parte superior donde se junta con la arena; se acostumbra disponer la grava en unas 6 capas de 5 a 8 cms de espesor y de tamaño gradualmente menor. La limpieza del filtro se realiza desprendiendo los 2 o 3 cms que forman la capa más superficial del lecho de arena, luego de que se ha vaciado completamente el agua. Cuando baja a unos 60 cms el espesor del lecho de arena, se rellena con arena limpia el total extraído en limpiezas anteriores.

2.4.4 FILTROS DE PRESION

El filtro de presión es un filtro rápido de arena, dispuesto en un recipiente cónico, a través del cual pasa el agua a presión. Estos filtros se construyen también con tanque horizontal; el lecho de arena tiene generalmente un espesor de 45 a 60 cms y el sistema colector está formado por un enrejado de tubos. Su lavado se realiza invirtiendo la dirección en que circula el agua, mediante la apertura y cierre de válvulas que controlan la circulación del flujo. El aumento considerable de la pérdida de carga indica cuando es necesario el lavado. Las unidades de tanque vertical se construyen con diámetros de .4 a 2.4 m., y las horizontales de 2.10 a 2.4 de diámetro con longitudes de 2.4 a 7.5 m. Estos tienen la desventaja de que no eliminan bacterias, pero pueden emplearse para la eliminación de la dureza y del hierro contenidos en las aguas subterráneas. Se emplean mucho en instalaciones industriales y piscinas para clarificar el agua. Las velocidades de filtración son de 80 a 200 lt/min., por m² de superficie filtrante. Para piscinas es común la de 120 lt/min.

2.4.5 FILTROS DE DIATOMEAS

El filtro de diatomeas fue desarrollado para eliminar bacterias causantes de enfermedades. Este tipo de filtro, cuyo requerimiento de espacio es muy reducido, consiste en una serie de elementos rígidos que se recubren mediante un cerrado arrollamiento de cable o hilo de metal, plástico u otro material no corroible. Al comienzo del ciclo de filtración se provoca la formación de una película de tierra de diatomeas. La tierra de diatomeas es el residuo silíceo de cuerpos de diatomeas, que son un tipo de algas depositadas en el agua en eras geológicas pasadas, formando extensos lechos que se benefician actualmente sometiendo la tierra a procesos de depuración y triturándola. Las partículas de sílice son de formas irregulares, lo cual proporciona un recubrimiento muy poroso.

La cantidad normal empleada oscila alrededor de 300 g por m² de super-

ficio filtrante, la cual se coloca en el filtro, mezclada con las primeras aguas que han de filtrarse después del último lavado. Estas primeras aguas han de desperdiciarse hasta la película de tierra de diatomeas en el interior del filtro y luego la tierra de diatomeas se va añadiendo continuamente al agua cruda para ir formando el recubrimiento total del cuerpo de filtración. El filtro requiere un lavado por contracorrientes y volver a formar el techo filtrante, cuando la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del mismo es de alrededor de $.7 \text{ kg/cm}^2$. Los filtros de diatomeas están limitados a aguas de baja turbidez, ya que ésta sólo es permitida en un máximo de hasta 30 ppa.

2.4.6 FILTROS PERCOLADORES

El filtro percolador, conocido también como biofiltro, es un filtro que ocupa poco espacio. Se forma una masa biológica gelatinosa sobre la superficie de los filtros y esta masa digiere la materia orgánica que contiene el agua que pasa sobre su superficie. Estas unidades no requieren más aire que el proporcionado por la ventilación natural. Cuando hay grandes concentraciones de materia orgánica es conveniente reciclar el efluente del filtro. Se hallan constituidos por cama de agregado grueso sobre el que se pulverizan las aguas a tratar. Entre los medios filtrantes se incluyen la grava, rocas trituradas, piezas de cerámica, escoria y plásticos. En general, el tamaño de las rocas se mantiene entre 5 y 10 cms de diámetro. Los drenajes inferiores recogen y se llevan el efluente. Los filtros pueden ventilarse para suministrar más aire a los organismos aerobios. Como los sólidos del agua a percolar pueden taponar los filtros, es recomendable un proceso de sedimentación antes del paso por los filtros. Los filtros percoladores se clasifican como normales o de capacidad baja, de capacidad alta y controlados.

2.5 CLARIFICACION

2.5.1 CLARIFICACION POR FLOTACION

pueden eliminarse partículas flotantes empleando clarificadores de flotación por aire. En estas unidades, los sólidos ligeros son puestos a flote en la superficie por las burbujas de aire de donde son eliminados como natas, mientras que los sólidos más pesados se asientan.

La flotación por aire se ha empleado por muchos años en la industria minera para concentrar mineral y en la industria papelera para tratar el agua blanca que se utiliza para la recuperación de fibra y la clarificación del agua. El uso de la flotación por aire disuelto se ha extendido para incluirse en el tratamiento de desecho aceitoso de refinerías, plantas petroquímicas, laminadoras de acero, fábricas de automóviles y terminales de ferrocarriles.

En estas industrias, el aceite en sus desechos puede revestir partículas sólidas, impartiendoles una tendencia a flotar en vez de asentarse. En estas aplicaciones, el clarificador de flotación por aire está con frecuencia precedido por un separador para la eliminación de aceite libre.

Otra aplicación importante de la flotación por aire disuelto, es el tratamiento de desechos de la industria alimentaria. Las plantas procesadoras de carnes y productos marinos, las enlatadoras y otros lugares han reducido considerablemente la DBO y los sólidos suspendidos empleando un equipo de flotación por aire. En la clarificación por flotación es usual someter a presión el flujo de desecho y sobresaturarlo con aire. Cuando la presión se elimina, el aire sale de la solución formando microburbujas y pone a flote a los sólidos.

En algunos casos, en vez de someter el influente a presión, se recircula una porción del efluente a través de un tanque de saturación con aire para reunirse con la corriente alimentadora.

En el tratamiento de aguas que contienen sólidos que tienden a flotar, la flotación por aire puede ser tan efectiva que puede reducir el tiempo de retención de 15 a 20 minutos, tiempo que puede ser comparado con el de va-

rias horas empleado en la sedimentación típica por gravedad. Como el caso de los clarificadores por gravedad, a menudo es necesario añadir coagulantes. Los polielectrolitos han venido ganando aceptación en esta aplicación y en casi todos los casos aumenta el rendimiento de un clarificador por flotación.

2.5.1.1 TEORÍA DE LA FLOTACION

La cantidad de aire que puede estar disuelta en agua está determinada por la ley de Henry, la cual establece que, para gases no ionizantes de baja solubilidad, el volumen disuelto en el agua es directamente proporcional con la presión absoluta. La cantidad de gas que teóricamente se libera de una solución cuando la presión es reducida a la atmosférica es:

$$GR = GA \left(\frac{Pa}{14.7} - 1 \right)$$

donde:

GR = Gas liberado (m^3/l)

GA = Solubilidad del gas a la presión atmosférica (m^3/l)

Pa = Presión absoluta en el tanque de saturación en PSIA

Los valores obtenidos deberán ser corregidos por la eficiencia de la absorción del gas en el recipiente de saturación, la cual está influida por los tiempos de mezclado y de retención. La eficiencia fluctúa entre el 40 y 60% de modo que la cantidad de gas liberado deberá ser alrededor de la mitad de la calculada por la fórmula anterior.

Las burbujas de aire formado en la unidad de flotación, llevan de ordinario una pequeña carga negativa. Según el tipo de las partículas y el grado de aglomeración del sólido, las burbujas de aire pueden pegarse a la partícula por algunos de los siguientes mecanismos:

1. Simple adhesión de la burbuja de aire a la superficie del sólido. Esto puede ocurrir por colisión o por formación

de la burbuja en la superficie de la partícula.

2. Atrapamiento de la burbuja en la parte inferior del flóculo de lodo, de modo que la partícula de desecho emerge.
3. Incorporación de las burbujas de aire a las estructuras del flóculo.

Se cree que este último es el modo más eficiente de emplear el aire, ya que es menor la posibilidad de que el flóculo se separe de la burbuja. Este proceso es estimulado por el uso de polielectrolitos que, cuando están aplicados correctamente, harán floccular las partículas de lodo en los lugares donde las burbujas salen de la solución, ya que la densidad de las partículas es menor que la del agua; éstas suben a la superficie y allí se consolidan formando una masa flotante que puede ser eliminada por desnatadores mecánicos, y por el fondo se extrae el agua clara obtenida.

2.5.1.2 TIPOS DE SISTEMAS DE FLOTACION

Tres son los tipos básicos de sistemas de flotación por aire disuelto:

1. AIREACION DIRECTA. En ella, toda la corriente de desecho se sujeta a presión y es aireada. En este caso, el material que va a separarse debe ser capaz de superar todas las fuerzas cortantes en la bomba de presión y en la válvula de escape de presión, o bien el flóculo debe volverse rápidamente a formar antes de que la presión sea liberada. Este método se usa con frecuencia cuando los desechos contienen aceite.
2. AIREACION PARCIAL. En ésta, sólo una parte de la corriente de desecho se somete a presión. Este método reduce los costos de bombeo cuando la carga de sólidos es pequeña, pero sólo es aplicable cuando están presentes cantidades bajas o moderadas de aceite. Se varía la cantidad de flujo que se somete a presión basándose en la relación deseada de aire a sólidos en una base de pesos, de ordinario en el intervalo de .01 a .06. Se recomienda recircular el efluente donde se forma un flóculo frágil. Este flóculo podría destruirse por el mezclado intenso que se presenta en el sistema de compresión. El gas es disuelto en la

corriente recirculada.

Se combina esta corriente con la corriente de alimentación en un punto donde se libera la presión. La mezcla de estas corrientes antes de entrar a la zona de flotación produce un contacto íntimo del gas precipitado y de los sólidos suspendidos para efectuar una flotación eficiente. Es preciso recircular el efluente cuando deban esperarse sólidos floculantes ligeros, como es el caso de lodos biológicos o de hidróxido. Cuando se emplea la recirculación del efluente, las áreas de flotación deberán ser grandes, ya que la carga hidráulica está basada tanto en el flujo de alimentación, como en el de recirculación.

2.5.1.3 FLOTACION POR AIRE DISPERSADO

Se usa en recipientes que contienen agua con partículas aceitosas o sólidos desmenuzados.

El aire es arrastrado mecánicamente y dispersado a través del líquido en forma de finas burbujas, en contraste con la liberación del gas disuelto en la solución. El diseño de flotación por aire disperso es especialmente adecuado para aguas de desecho aceitoso.

2.5.2 PRINCIPIOS DE LA CLARIFICACION POR GRAVEDAD

Los clarificadores por gravedad se clasifican en tres grandes tipos: sedimentación simple, unidades de contactos de sólidos y asentadores de platos inclinados. Hay varios tipos de depósitos de clarificadores: de alimentación central (que es muy común), rectangulares y de alimentación periférica. El clarificador de alimentación central tiene cuatro secciones distintas, cada una con su función propia. La sección de entrada proporciona una transición suave entre las velocidades altas del tubo de entrada y la baja velocidad uniforme que requiere la zona de asentamiento. Este cambio en la velocidad deberá controlarse cuidadosamente para evitar turbulencia, corto circuito y arrastres.

La zona de asentamiento debe ser lo bastante grande para reducir la velocidad del flujo por debajo de la velocidad de asentamiento de los sólidos. La zona de salida proporciona una transición entre la baja velocidad de la zona de asentamiento y las velocidades relativamente altas del rebasamiento.

La cuarta sección, la zona de lodos, deberá asentar, comprimir y coagular los sólidos de manera efectiva y eliminar el lodo del clarificador sin perturbar la zona superior de sedimentación. El fondo del clarificador tiene de ordinario una pendiente de 5 a 2 grados al centro de la unidad donde se recoge el lodo de una tolva para ser eliminado. Una raspadora de lodos impulsa mecánicamente, surca o rastrilla el lodo hacia abajo del fondo inclinado de la tolva de lodos. Parte del lodo recogido puede ser devuelto al tanque alimentador para siembra cuando se esté aplicando un tratamiento.

El depósito rectangular se asemeja a una sección tomada a través de un clarificador de alimentación central con la entrada en un extremo y la salida en el otro. Un clarificador rectangular típico es aproximadamente cuatro veces más largo que ancho. La recolección del lodo en tanques rectangulares de sedimentación se efectúa de ordinario por un sistema de paletas que tienen un propósito dual. Las aspas desatan la superficie para eliminar la materia flotante y luego viajan a lo largo del fondo para conducir el lodo a la tolva de descarga. Este sistema debe moverse lentamente para no producir turbulencias que podrían interferir con el asentamiento. Este tipo de clarificador tiene la ventaja de que puede usar paredes comunes, entre las más típicas unidades, lo que reduce el costo de construcción. En el clarificador de alimentación periférica, alimentado en el borde, se pretende emplear todo el volumen del depósito del clarificador circular para el asentamiento. El agua entra por la parte inferior de la periferia con velocidades extremadamente bajas, permitiendo la sedimentación inmediata de partículas grandes. La velocidad aumenta hacia el centro y baja después hasta que se invierte el flujo y es dirigida nuevamente al vertedero periférico de derramamiento. Ya que el patrón de flujo depende por completo de la hidráulica,

este tipo de clarificador es sensible a los cambios de temperatura y a las fluctuaciones de carga. En este tipo de clarificador es difícil la recirculación del lodo.

Un segundo tipo de clarificadores son las unidades de contacto de sólidos que pueden ser de 2 tipos:

- a) Clarificador de recirculación de lodos
- b) Clarificador de colchón de lodo.

Ambos con un mezclado químico, la floculación y la clarificación de una sola unidad. En la zona de mezclado del clarificador por contacto de sólidos, la concentración de sólidos puede llegar a ser hasta cien veces la concentración que se tiene en un clarificador simple. Este nivel grande de sólidos aumenta considerablemente la velocidad de las reacciones de desestabilización y el crecimiento de la partícula. En virtud de lo anterior, las unidades por contacto de sólidos se usan, de ordinario, en el ablandamiento con cal.

En la unidad de recirculación del lodo, el gran volumen de flóculos se obtiene mediante recirculación de la zona de floculación a la zona de clarificación. En el clarificador de colchón de lodo, los sólidos floculados se mantienen en un colchón fluidificado por el cual debe pasar el agua. En virtud del aumento de sólidos, el tamaño del clarificador puede disminuirse. La distribución uniforme del flujo de entrada y el patrón de flujo vertical en este tipo de clarificador, ofrecen un mayor rendimiento que los clarificadores de flujo horizontal.

Al pasar a través del colchón de lodo, los flóculos mayores se asientan por gravedad en el fondo y los flóculos finos permanentes son eliminados por colado y absorción. Se emplean mezcladores de velocidad variable para controlar la floculación y la concentración de sólidos en la zona de reacción. Se mantiene la concentración de sólidos en la zona de reacción sacando sólidos del sistema para compensar aquellos que llegan con el agua cruda y los sólidos producidos en la reacción química. La eliminación del lodo puede efectuarse por un tubo de escape de lodos o por un sistema con-

venicional de rastrillo y bomba. La compensación, entrada en función de la salida de sólidos, es el aspecto más difícil en el control de una unidad de colchón de lodo.

2.5.2.1 EL FLUJO EN CLARIFICADORES POR GRAVEDAD

Los dos principales problemas que presentan los clarificadores por gravedad son el cortocircuito y las corrientes inesperadas de torbellino. Ambas pueden ser producidas por cambios en el flujo, composición de la entrada, temperatura y densidad. Ambos pueden ser agravados por depósitos localizados de lodos que obstaculizan el patrón del flujo normal.

En el clarificador circular convencional, el agua debe estar relativamente estancada en una proporción considerable del volumen total retenido. Puede determinarse la retención efectiva midiendo las concentraciones de cloruro en el efluente o la conductividad después de inyectar en la alisección una cantidad determinada de sal. Por lo general, las corrientes de torbellino se observan fácilmente mostrándose como un hervor aparente en el lodo. Estas perturbaciones pueden a menudo deberse a condiciones atmosféricas tales como vientos, luz solar intensa que calienta el lodo no uniforme o a la luz que estimula la producción de O_2 de algunas algas.

Los separadores de flocúlos ofrecen una solución a estos problemas. En las unidades hechas de adúlos, se añade al flujo suficiente resistencia por fricción para uniformar el patrón hidráulico y eliminar los problemas de cortocircuito y corrientes de torbellino. En la mayor parte de los clarificadores por gravedad, la profundidad media a través de la cual deberán caer las partículas de lodo se recomienda que sea mayor a 1.50 mts. El tiempo requerido por el lodo para recoger esta distancia es un factor crítico que limita la capacidad del clarificador. Dos modificaciones semejantes al diseño normal de clarificadores por gravedad reducen considerablemente la distancia de caída: aumentando la velocidad efectiva de levantamiento y reduciendo radicalmente el espacio requerido para la clarificación. Estas son: El Asentador de Tubo y El Separador de Lámina, clasificados co-

no asentadores de plano inclinado. El llamado asentador de tubo puede conseguir en una serie de tubos inclinados, algo semejante a un intercambiador de calor, cuya entrada se conecta a la cámara de floculación y cuya salida da a un pozo de aguas claras. El ángulo de inclinación está determinado por el rendimiento que desea obtenerse.

Al asentador de tubo le afectarán la concentración y la naturaleza de los sólidos y los procesos de filtrado de agua y espesamiento de lodo. Este asentador puede ser también un recipiente espacado con separadores de floculos o con placas inclinadas paralelas. El separador de láminas es más complicado, aunque opera bajo el mismo principio al tener las partículas de lodo una distancia muy pequeña para asentarse y el lodo acumulado es inducido a flocular y a concentrarse a medida que cae rodando por la superficie inclinada. Estas unidades son apropiadas para el tratamiento localizado de corrientes de desecho individuales en lugares encajonados. Una modificación de la unidad de sedimentación simple son los tanques rectangulares de dragado, los cuales están diseñados para eliminar sólidos densos, como escoria granulada de las fundiciones. A medida que los sólidos son dragados del recipiente por aspas que se mueven hacia la orilla, escurre el agua produciéndose una masa relativamente seca. Al moverse las aspas hacia arriba, rompen los sólidos frágiles, de manera que el tanque de dragado está limitado en el tipo de sólidos que se pueden separar. El tiempo de retención es pequeño y bastante pobre para la claridad del flujo que se obtiene, pero los tanques de dragado pueden modificarse para obtener aguas más claras haciendo que el tiempo de retención sea de cerca de una hora y adicionando sustancias como se hace en las acerías en las fosas de colección de agua utilizada.

2.5.2.2 CLARIFICADORES DE FLUJO ASCENDENTE

Estos clarificadores poseen la forma de un cono invertido como una tolva hecha de acero; el flujo vertical tiene el propósito específico de separar partículas grandes o pesadas que se sedimentan con rapidez de otras pe-

queñas o ligeras que se sedimentan con lentitud, por medio de se dimentación diferencial: los tanques de flujo vertical combinan normalmente la floculación, también llamada filtración por contacto, con la sedimentación. Si el propósito primordial consiste en la sedimentación diferencial o clasificación de sólidos, las partículas discretas pequeñas o ligeras se arrastran intencionalmente hacia el canal efluente del tanque, mientras que las partículas grandes o pesadas se asientan en el fondo del tanque. Esto se efectúa por ejemplo en algunas cámaras desarenadoras. Si la función primaria estriba en la formación de flóculos, las partículas entrantes no deben permanecer discretas, si no unirse en agregados los cuales finalmente se separan del agua que fluye -- verticalmente hacia arriba.

Para el desarrollo de flóculos, los tanques clarificadores de flujo vertical se dividen en zonas. Las zonas de entrada y la de lodos se encuentran en íntimo contacto, y la zona de floculación está ocupada parcial o totalmente por una nube o colchon de lodos semejante a un filtro de lecho fluidificado. Los flóculos conformados en este caso por partículas ascendentes, entran en contacto con otras partículas que se asientan y con una nube estacionaria de flóculos o partículas en equilibrio con su medio ambiente hidráulico. Una zona de salida situada en el borde del tanque permite un desplazamiento parcial hacia arriba o abajo de la zona de floculación. La zona de salida constituye un amortiguador entre el interior del tanque y la salida. Los flujos entrantes son forzados a ascender con algún grado de uniformidad, ya sea por el ensanchamiento del tanque hacia afuera o incorporando rejillas de distribución. Las rejillas pueden ser muy similares a las tuberías de drenado inferior de los filtros.

2.6 DOSIFICACION

2.6.1 GENERALIDADES

Durante los últimos años, en la mayor parte de las plantas de purificación de agua que tienen y utilizan cantidades relativamente grandes de compuestos se ha empleado equipo para medirlos en estado seco o al --

tamente concentrado y disolverlos, justamente antes de añadirlos en el agua cruda.

Los compuestos son aplicados mediante dosificadores en seco o en líquido y se disuelven antes de agregarse al agua sujeta a tratamiento, pues vienen concentrados. Cuando se emplea equipo de dosificación en seco, el producto medido se descarga a un compartimiento de solución y se disuelve; la alimentación se efectúa por bombas, eyectores o alimentación por gravedad. Los tanques dosificadores de solución están equipados con mezcladores accionados por motores o tuberías distribuidoras de aire o vapor para ayudar a la disolución. La reposición de cargas en el equipo clasificador deberá no ser mayor de una vez al día trabajando a su máxima capacidad. Muchos de los compuestos usados son corrosivos y el equipo para alimentarlos deberá estar construido con materiales resistentes a los ácidos. Para equipo destinado a la dosificación de substancias alcalinas no deberá emplearse latón o cobre.

Los dosificadores, tal como se usan hoy en día en el campo de la ingeniería sanitaria, son dispositivos muy flexibles que pueden combinarse con gran número de accesorios y numerosa variedad de configuraciones, para producir casi cualquier resultado deseado. Se emplean dosificadores para el control de tanques y válvulas que están relacionados con niveles de productos, soluciones y caudales.

La velocidad de los dosificadores se controla regulando la velocidad del motor que los impulsa y apagando y encendiendo el motor. En una operación de arranque y paro, generalmente se usa un motor trifásico y un dispositivo de arranque sobre la línea, en lugar de los motores acostumbrados de fase dividida y arranque por capacitancia que se da casi siempre para las operaciones continuas. Los motores trifásicos pueden adquirirse en fracciones de caballo de fuerza para dar servicio a los dosificadores de compuestos y resultarán más económicos en costo y rendimiento. El uso de motores de fase dividida con arranque por capacitancia no es muy conveniente, debido a la corta vida de sus accesorios de arranque.

Los dosificadores volúmetricos descargan un volumen medido de compuestos, ya sean líquidos o secos por unidad de tiempo. El dosificador de sales secas consiste en una tolva que contiene las sales secas en un dosificador y un tanque de solución. El tanque de solución está siendo abastecido constantemente de agua. Después de la agitación necesaria, la solución o mezcla de compuesto pasa sobre un vertedero hacia el sistema de tratamiento.

La precisión de un dosificador de sales secas está limitado por el grado de compactación de la sal seca. Puesto que se está midiendo un volumen y no un peso, la precisión del sistema dosificador se ve alterada constantemente por las diferentes densidades del material seco en las diversas regiones de la tolva.

Se considera que los dosificadores volúmetricos de sales secas son precisos, dentro de un 5%. Los dosificadores de solución tienen precisiones del 2%. Las técnicas para hacer variar la velocidad de dosificadores de solución son semejantes a los empleados en los volúmetricos. El tiempo de encendido de los motores y su velocidad pueden alterarse fácilmente.

Los dosificadores gravimétricos pesan los productos que deban agregarse y son básicamente usados para compuestos secos. Existen muchas variaciones de dosificadores gravimétricos, desde el tipo que pesa la cantidad de compuestos sobre una banda móvil, hasta las que pesan el cambio del peso del compuesto dentro de la tolva de almacenamiento. Los dosificadores gravimétricos modernos poseen sistemas internos de control, de modo que los instrumentos neumáticos o electrónicos se usan como partes integrantes del dosificador.

2.6.2 TANQUES DISOLVENTES PARA PRODUCTOS CRISTALINOS

Una de las formas más antiguas de dispositivos dosificadores como por ejemplo para el alumbre y posteriormente para el carbonato de sodio, se conoce como el tanque de alumbre (alum-pot).

En este equipo se colocan trozos de alumbre de potasio o amonio cristalizado dentro de un pequeño tanque a presión, y la solución se efectúa

por el paso de una fracción reducida del agua en forma continua a través de él. La corriente secundaria para disolver los productos se toma de la línea de agua cruda y retorna a la línea principal después. Se emplea una válvula de aguja para ajustar el flujo de agua de dilución, paralelamente al flujo de dosificación. Este método para aplicar alumbre y soda se emplea actualmente en muchas instalaciones pequeñas de filtros a presión en las que no existen facilidades para precoagulación. Debido a que la superficie expuesta de los cristales cambia lentamente, el aparato no permite un control tan cuidadoso de las dosis de productos químicos como puede lograrse con otros equipos, pero es económica y fácilmente adaptable a la mayoría de los filtros a presión.

2.6.3 DOSIFICADORES DE DESPLAZAMIENTO DE LIQUIDO

En este dispositivo, el alumbre u otro coagulante químico se disuelve en primer lugar y la solución es descargada posteriormente al tanque de desplazamiento. A causa de su mayor densidad, la solución permanece por debajo del pistón de agua cruda y es alimentada a la línea principal de agua por desplazamiento hidráulico. Es necesario preparar la solución a una densidad alta con objeto de mantener los estratos separados. El límite entre el agua y la solución se indica mediante un flotador de densidad dentro del tubo de vidrio indicador de nivel. Este aparato puede ser usado para alumbre o cualquier producto cuyas soluciones sean suficientemente pesadas.

El agua se deriva alrededor de un orificio primario en la línea de agua cruda y su flujo es, por tanto, proporcional al caudal principal. Para desplazar la solución del dosificador, el agua se desvía alrededor de un orificio secundario en la línea menor, controlándose por medio de una válvula de aguja. Mediante estos dispositivos la dosificación proporcional obtenida es precisa; sin embargo, es necesario tener gran cuidado para evitar la mezcla de las dos capas de líquido.

2.6.4 DOSIFICADOR DE CAJA DE ORIFICIO

Este tipo de aparato ha sido extensamente usado por muchos años y es proporcionado por la mayoría de los vendedores de equipos de tratamiento de aguas. Es un dispositivo simple que permite aplicar una solución a flujo constante a través de un orificio sumergido y sostenido bajo un nivel constante mediante una válvula controlada por flotador. Usualmente se instalan dos tanques de almacenamiento para permitir la alimentación con uno de ellos mientras se prepara la solución en el otro. La dosis puede regularse manualmente por la abertura del orificio o automáticamente por dispositivos eléctricos de control.

La selección de los materiales de construcción dependerá del producto para alimentar y deberá ser, en general, un tipo resistente a la corrosión. Los tanques cuando son pequeños, generalmente se construyen de neopreno o acero porcelanizado.

2.6.5 DOSIFICADORES DE DECANTACION O DE TUBO OSCILANTE

Estos dosificadores se emplean para alimentar soluciones. El tubo oscilante que extrae y descarga la solución se opera bajo un ciclo de paro y arranque, activado por un mecanismo eléctrico de descenso interconectado a un medidor proporcionador que hace bajar el tubo. Cuando pasa por el medidor una cantidad específica de agua, un contacto eléctrico pone en movimiento al motor que hace girar un cilindro sobre el que se encuentra enrollado un cable del que pende el tubo oscilante. Este tubo desciende una distancia fija dependiendo del ajuste que se haya dado al mecanismo controlador de dosificación.

Ya que la frecuencia de este ciclo está gobernada por el flujo y la distancia de descenso es manualmente ajustable, es posible alimentar cualquier dosis deseada en forma precisa y proporcional al flujo de agua.

2.6.6 DOSIFICADORES EN SECO

Todos los dispositivos de esta clase se clasifican como dosificadores volumétricos o gravimétricos para identificar la forma en que se controla

el flujo de productos que se adicionan. El flujo y operación de los dosificadores en seco requiere que el compuesto por alimentar sea sólido o pulverizado para que pueda pasar a través de un mecanismo de control y para asegurar un flujo uniforme.

2.6.6.1 DOSIFICADORES VOLUMÉTRICOS EN SECO

Los dosificadores volumétricos en seco se diseñan para alimentar productos químicos en forma granular, trozos o polvo, en flujo uniforme que puede ser controlado con exactitud razonable, pero no precisa por la posición del mecanismo de ajuste. El dosificador posee una garganta oscilante que alimenta a una plataforma y mueve una charola receptora hacia adelante y atrás derramando con cada movimiento el producto químico seco al final de su carrera. La longitud de la carrera que determina la relación de alimentación se controla por medio de una unión variable con la varilla que conecta al mecanismo motor. Una variación en la velocidad de alimentación, o una operación intermitente, o ambas, hacen posible regular la velocidad de alimentación en proporción al flujo del agua por tratar. El desarrollo de los dosificadores volumétricos ha sido dirigido hacia una medición más precisa de los sólidos a granel que se dosifican. Han sido empleados numerosos dispositivos incluyendo algunos basados en el principio del conductor de gas. En ocasiones los dosificadores volumétricos poseen al final de la tolva bandas de hule moldeado en las cuales existen divisiones verticales que forman compartimientos del mismo tamaño, y con ellas se extrae el producto a distribuir con mayor precisión. La velocidad de alimentación se fija mediante un mecanismo motor de velocidad variable con límites y variación continua. Los impulsos producidos por un medidor de flujo pueden causar intermitencia en la operación, de modo que esta intermitencia en el dosificador sea proporcional al flujo de agua.

2.6.6.2 DOSIFICADORES GRAVIMÉTRICOS

Las unidades de esta clase han encontrado amplia aplicación y son ex-

tensamente usadas, especialmente en plantas grandes. En los dosificadores gravimétricos del tipo de banda, el mecanismo gravimétrico de control consta de una charola vibratoria alimentada desde una tolva de almacenamiento interconstuida en la máquina, a través de una compuerta. El producto es dosificado de esta charola a una pequeña banda conductora operada por un mecanismo de velocidad variable, la banda está conectada y suspendida a la escala de la báscula. Una cuña de hule está unida y pende libremente de la escala de la báscula, dependiendo la posición de la cuña del peso de material que está sobre la banda. Conforme la cuña de hule sube o baja por medio de la báscula, dentro de una pieza en forma de V, hace variar el impacto sobre la charola alimentadora, aumentando o disminuyendo en esta forma la alimentación del producto en la banda. Esta acción mantiene un peso constante de producto sobre la banda, el cual es ajustable por medio de modificaciones de las pesas sobre la escala de la báscula. La relación de producto sobre la banda, así como la velocidad de avance de la banda, fácilmente pueden hacerse proporcionales al flujo o mantenerse constantes.

2.7 MEZCLADO

2.7.1 DISPOSITIVO DE MEZCLADO

Después de la adición de componentes al agua, éstos deben mezclarse rápidamente y efectivamente con el agua por tratar. Los equipos de mezclado se diseñan en muchas formas, dependiendo del tamaño, tipo y finalidad del sistema de tratamiento. Los siguientes medios han sido usados para efectuar esta mezcla:

1. TIPO DE "ALREDEDOR DE LOS EXTREMOS" (AROUND THE END).

En él, se dota a un tanque rectangular de mamparas verticales que obligan al agua a fluir por un pasadizo estrecho y profundo con retorno de 180° en sus extremos.

2. TIPO "HACIA ARRIBA Y ABAJO" (UP AND DOWN).

En este medio, el agua se hace fluir alternativamente hacia la superficie y posteriormente hacia el fondo por una sucesión de zaparras transversales en un canal o ducto.

3. CANALES DE FLUJO RECTO DE CONSIDERABLE LONGITUD

Estos obligan a alcanzar alta velocidad y también turbulencia.

4. Agitación mecánica por paletas accionadas a motor dentro de tanques circulares o cuadrados.

5. Combinación del sistema "alrededor de los extremos" y agitación mecánica en tanques rectangulares. Aunque el sistema típico de zaparras del tipo "hacia arriba y abajo" y "alrededor de los extremos" han sido empleados y aún se utilizan en algunas plantas grandes, no son tan adecuados como los "mezcladores rápidos" (Flash Mixers), en los cuales los productos y el agua son rápidamente mezclados por paletas de alta velocidad operados mecánicamente. El tiempo requerido para un mezclado completo dependerá de los medios disponibles.

Cuando el mezclado se hace mediante compartimientos con zaparras, se suministran tiempos de retención de 5 a 20 minutos, mientras que si se emplean mezcladores rápidos, el tiempo puede ser de 3 a 10 segundos. El tiempo permitido para mezcla deberá estar gobernado por cada tipo de agua en particular. En mezcla seguida de floculación, si el tiempo de mezcla es demasiado largo y el flóculo se encuentra bien formado, las partículas coaguladas pueden ser rotas y cuando esto sucede la floculación se verá retardada.

Cuando se decide emplear mezclado instantáneo, éste puede lograrse de diversas maneras, tales como: mezclado hidráulico en la línea y mezclado de alta velocidad en un tanque pequeño de mezclado. En ambos casos, pueden agregarse los productos antes o durante el mezclado instantáneo. En el caso del mezclado para floculación, éste suele hacerse en compartimientos que son agitados suavemente. Dos diseños comunes son: el de carrete horizontal y el de turbina. Algunas plantas emplean el mezclado hidráulico, aunque su uso es limitado ya que su efectividad decrece en el caso de flujos pequeños.

2.7.2 CLASIFICACION DE ELEMENTOS AGITADORES

El equipo de mezclado es a menudo dosificado por el tipo de impulsores que emplea. Los impulsores pueden de una manera general dividirse en dos amplias clases: impulsores de flujo axial e impulsores de flujo radial. La clasificación depende del ángulo en que se halla la hoja con el plano de rotación.

2.7.2.1 IMPULSORES DE FLUJO AXIAL

Los impulsores de flujo axial incluyen a impulsores en los cuales el ángulo de los planos de sus hojas es menor de 90° respecto del eje de rotación de la flecha. Las hélices y turbinas son ejemplos que representan impulsores de flujo axial. Las hélices son usadas en tanques pequeños de menos de 5 m^3 o con diámetros menores a 6 pies y potencias menores a 3 HP.

Los mezcladores de hélice pueden ser puestos en los tanques en el eje centroidal del tanque o a un lado de éste, paralelos en ambos casos a dicho eje de referencia, o en las dos posiciones básicas anteriores y forzando un cierto ángulo respecto al eje centroidal del tanque.

Según sea la posición elegida, así será el tipo de flujo y movimiento de las substancias a mezclar en el interior del tanque. Dos rangos básicos son los disponibles 1150 o 1750 R.P.M. con transmisión directa de motor a rotor y 350 o 420 R.P.M. con reducción de potencia de 1:3 o 1:4; las unidades grandes producen fuerzas cortantes y pérdidas internas de energía y su corriente de descarga tiene una baja tasa de fluido en movimiento a través del tanque en comparación con las unidades de bajas revoluciones. Las unidades de elevadas revoluciones son muy apropiadas para la rápida dispersión o disolución de substancias. Y para operaciones con alto contenido de partículas en suspensión como en la coagulación y floculación, las unidades con reductores de revoluciones y baja velocidad son idóneas. Las hélices también pueden ser montadas cerca del fondo de los tanques sobre sus paredes; este tipo de agitadores laterales son usados para mezclar fluidos de baja viscosidad, menor a 100 poises o para ir direccionando y acercando se

dientos en tanques grandes de capacidades mayores de 4000 m³.

En la mezcla de pulpa de papel, ésta es generalmente movilizad por - propulsores de hélice colocados en los costados de los tanques. Las turbinas mezcladoras de hojas de placas inclinadas son usadas en mezcladoras de flujo ascendente-descendente que sale o entra por la parte central superior, con flecha accionada desde el extremo superior fuera del tanque en lugar de hélices. Cuando una alta tasa de circulación axial es deseada y la potencia consuida es mayor a 5 HP, el mezclador de hojas de placas inclinadas más que ser un buen agitador de superficie, es efectivo para susurrir todas las partículas flotantes.

2.7.2.2 IMPULSORES DE FLUJO RADIAL

Los agitadores de flujo radial tienen sus hojas perpendiculares al eje de la flecha impulsora. Las pequeñas con muchas hojas son conocidas como - turbinas y el otro tipo de baja velocidad -con 2 o 4 hojas- son comunente llamadas paletas. El diámetro de las turbinas es normalmente entre .3 y .6 del diámetro del tanque. Los impulsores de turbina vienen con una variedad de tipos, algunos de ellos son las turbinas de hojas curvas, y las turbinas de hojas planas.

Las turbinas de hojas curvas ayudan al inicio del movimiento de sólidos asentados. Sus paletas agitadoras tienen un diámetro mayor de .6 veces el diámetro del tanque y giran a baja velocidad. Se construyen usualmente de 2 a 6 hojas curvas y con un pequeño anillo en la parte central. La mayor parte de la agitación de sólidos en líquidos, es hecha con turbinas de hojas curvas de paletas. Los rangos de potencia van de 1 hasta tan altos como 1000 HP, la velocidad de los impulsores es típicamente entre 50 y 150 R.P.M., pero ésta depende de las condiciones particulares de cada proceso, ya que puede llegar a ser tan alta como 400 R.P.M. o tan baja como 15 R.P.M.

En los procesos donde la corrosión es común, usar materiales sin recubrimiento resulta problemático, y por ello los impulsores vidriados en su exterior pueden ser una solución económica.

na modificación común en las paletas es que éstas en vez de ser pedazos de laca planas, sean hechas con placas troqueladas en forma semejante a la de las cucharas.

2.7.3 TANQUES DE MEZCLADO

2.7.3.1 TANQUES DE PAREDES LISAS

En ellos, la tendencia es que el flujo gire, debido a la posición en que se halle colocada la turbina. Este sistema es muy frecuente para líquidos con bajas viscosidades. El eje de la turbina suele ponerse cercano al eje centroidal longitudinal del tanque. El líquido se pone a girar siguiendo el sentido de giro de la flecha del rotor. Es generado un vórtice que tiene por eje la flecha giratoria. La velocidad de rotación que puede ser usada está limitada, pues si es excesiva penetrará un flujo de aire que disminuirá la eficiencia del mezclado. Adicionalmente, el giro de la masa líquida frecuentemente genera un agitado y oscilante oleaje en el tanque, el cual a la par con las profundidades del vórtice puede crear una fluctuante resistencia a la impulsión de las aspas o de las paletas y un movimiento torsionante variable en la flecha del rotor.

Las velocidades en los vórtices de líquidos de bajas viscosidades son relativamente bajas en los extremos perimetrales respecto de las existentes en la base. Se logran incrementos de circulación de flujo en el sentido vertical poniendo el eje del impulsor alejado del eje centroidal longitudinal del tanque; esto tanto para agitadores tipo paletas, como para los del tipo turbina. La posición correcta de colocación del agitador es un factor crítico, pues de ello depende el giro de la masa líquida, su oscilación, oleaje, vórtices controlados o errantes, fluctuación de momentos torsionantes en la flecha, vibraciones y, en suma, la eficiencia del mezclado. Las dimensiones del tanque y cambios de viscosidad afectan fuertemente los modelos idealizados de circulación del fluido. En la zona del fondo, los montajes de mezcladores con el rotor fuera del eje centroidal longitudinal han resultado particularmente efectivos en mezcla de suspensiones de pulpa de papel; con

Impulsores de flujo axial pueden usarse montajes retirados del centroide longitudinal del tanque, ("OFF-CENTER") y que posean además un ángulo de inclinación. Este tipo de impulsores y montaje suele inclinarse 15° respecto a la línea centroidal longitudinal del tanque. Los propulsores "fuera de centro" suelen usarse limitados deliberadamente a 3HP o menos, ello debido a que mayores potencias fomentan una excesiva turbulencia ocasionada por los flujos desbalanceados que generan.

2.7.3.2 TANQUES CON DIRECTORES DE FLUJO

Suelen usarse para la vigorosa agitación de suspensiones poco espesas. El tanque se halla provisto de placas de la misma altura del tanque y anchos cortos colocados radialmente, normales a la superficie interior perimetral y soldadas a ésta a ángulos iguales; medidos estos ángulos alrededor del eje centroidal longitudinal del tanque. Cuatro placas son casi siempre adecuadas. Un ancho común suele ser de entre $1/10$ y $1/12$ veces el diámetro del tanque. Para agitación del líquido en el mezclado de fluidos densos con gran cantidad de partículas en suspensión, las placas desviadoras se colocan a partir de una distancia igual a la mitad de su ancho, y separadas de la base; esto último para minimizar la acumulación de sólidos en el fondo. Para números de Reynolds, mayores de 10,000 las placas desviadoras son muy usadas, así como impulsores de turbina colocados sobre la línea central axial se circunvalación del flujo.

Kristen dos modelos básicos de flujo que dependerán del ángulo de las placas de los alabes de las hélices o de la turbina; primero: formar una corriente en la totalidad del tanque y segundo; formar una corriente encima del extremo de la flecha y otra por debajo de dicho extremo.

En la región de transición del número de Reynolds, comprendida entre 20 y 10,000, el ancho de las placas desviadoras puede ser reducido a la mitad del normal.

2.7.4 FUTURO DEL MEZCLADO

En las instalaciones antiguas, la mezcla de los productos químicos con el agua se combinaba frecuentemente con la floculación en cámaras provistas

de pantallas rotatorias. La tendencia del progreso es hacia el empleo de mezcladores rápidos -también llamados turbosagitadores- con tiempos de retención de segundos.

2.8 CENTRIFUGACION

2.8.1 GENERALIDADES

La concentración o espesamiento de sólidos puede lograrse mediante la centrifugación. Los tipos de centrifugadoras más usadas son: las de canasta, la de tazón sólido y la de tobera-disco. Las centrifugadoras de tobera-disco pueden emplearse para espesar lechadas que se desgregan posteriormente. Es apropiada para espesar lechadas que contienen partículas de tamaño muy uniforme, ya que generan una fuerza centrífuga mayor que la generada en una centrífuga de tazón sólido.

La centrifugadora de tobera-disco se alimenta de lechada por el centro de la parte superior del aparato, siendo ésta conducida a una región en el exterior de los discos. Los discos están apilados en la centrifugadora y su separación es de .1 a .25". Los sólidos se asientan cuando la alimentación es forzada a través de esta región estrecha. Esta distancia es tan pequeña que las partículas no tienen que viajar muy lejos. Los sólidos asentados se clasifican por la superficie inferior de las placas y sobre la pared de la caja donde se efectúa la compactación antes de ser expulsados por las toberas en la periferia. El centrado pasa por debajo del lodo y es descargado por el centro de la centrifugadora. Fuesto que la tolerancia de la centrifugadora de tobera-disco es pequeña, con frecuencia se atasca cuando encuentra sólidos gruesos. Por esto, los sólidos gruesos son tamizados del fluido antes de entrar en la centrifugadora.

También puede emplearse una centrifugadora de canasta para el espesamiento de lechadas. En una centrifugadora de canasta, el desecamiento es un proceso discontinuo. La lechada entra por la línea de alimentación desde la

parte superior hasta llegar a un punto cerca del fondo del tambor giratorio son cerradas (no perforadas), el centrado se colecta mediante una espumadera o simplemente rebosando a un vertedero en la parte superior de la caja. La centrifugadora de caja perforada tiene un tambor agujerado semejante al de una lavadora automática. Este tipo de centrifugadora emplea un medio filtrador colocado en la parte interior del tubo, y el agua sujeta a la fuerza centrífuga, pasa a través de la torta y del medio, y sale afuera del tambor de donde es drenada. Después de que la máquina es cargada se aumenta la velocidad para efectuar la separación. Luego de que se elimina el centrado, la centrifugadora disminuye la velocidad para ser descargada; posteriormente un cuchillo o un rastrillo se mueve en la caja para cortar la torta. Este rastrillo está accionado hidráulicamente y se ajusta de modo que no llegue a cortar las paredes de la caja. Las centrifugadoras de canasta se emplean cuando lo más importante es la recuperación de los sólidos y la sequedad de la torta. Puesto que las máquinas con tambor perforado pueden fácilmente equiparse con un atomizador de lavado, se usan a menudo cuando la torta debe ser purificada y lavada.

2.8.2 DSECCAMIENTO POR CENTRIFUGACION

El desecamiento es por lo común el último paso de la separación de sólidos-líquidos. La meta es producir una torta de una densidad y resistencia tales que permitan el transporte a un sitio de disposición final como un lecho sólido. De ordinario sigue a las operaciones de clarificación y espesamiento. En el tratamiento de desechos, el método de desecamiento está determinado a menudo por la naturaleza de los sólidos que deban desecarse y por el método final de disposición de los sólidos. Cuando los lodos piensan usarse en un programa de aprovechamiento de tierras o como terraplen, no es necesaria una desecación completa.

Desde hace mucho tiempo la centrifugación se ha empleado tanto para el desecamiento, como para el espesamiento. Es importante la selección de la centrifugadora apropiada, ya que las características del diseño deben suje-

tarse a las necesidades de una aplicación específica. Varias son las ventajas inherentes de la centrifugadora que la hacen atractiva en muchas aplicaciones de desecamiento. Entre otras ventajas importantes se encuentra el diseño compacto, el alto rendimiento y una relativa sencillez de operación. El equipo auxiliar requerido es bastante sencillo.

2.8.3 CENTRIFUGADORAS DE TAZÓN SÓLIDO

Este tipo de centrifugadora es el más empleado para desecamiento y se usa ampliamente en plantas de tratamiento de agua, fábricas de papel, acerías, plantas textiles y refinerías, así como en tratamiento de carbón y bauxita. En climas moderados pueden instalarse y operarse al aire libre.

2.8.3.1 PRINCIPIOS DE OPERACION DE CENTRIFUGADORAS DE TAZÓN SÓLIDO

Hay tres diseños de tazón sólido: cónico, cilíndrico y cónico-cilíndrico. El de tazón cónico logra una sequedad máxima del sólido a expensas de la claridad del centrado al emplear una área grande comparada con el volumen pequeño de la alberca del centrado. En comparación, el tazón cilíndrico tiene una alberca profunda de centrado a través de toda su longitud y proporciona al centrado una buena claridad, aunque una torta relativamente húmeda.

El diseño cónico-cilíndrico es el más común para una centrifugadora de tazón sólido. Es flexible en la capacidad que tiene para desplazar el balance entre la sequedad de la torta y la calidad del centrado en un intervalo amplio, mediante un cambio en la profundidad de la alberca en función del criterio de desempeño que se desee. La centrifugadora de tazón cónico del tipo cónico-cilíndrico consiste en una unidad giratoria que comprende un tazón y un transportador unidos por un sistema de engranes que hace que el tazón y un transportador giren en la misma dirección, pero con velocidades ligeramente distintas. La mayor parte de las centrifugadoras de tazón sólido operan entre 1,500 y 2,500 R.P.M. La sección cónica en el extremo del tazón forma una superficie desecadora sobre la cual el transportador espuja al lodo a las puertas de salida. El líquido clarificado puede ser

capar por los vertederos, o es eliminado por un espumador. Si el líquido clarificado y la torta de lodo salen por el mismo extremo del tazón, la centrifugadora es del tipo concurrente. Si abandonan la máquina por extremos opuestos, la centrifugadora es del tipo de contracorriente.

La lechada que deba desecarse entra al tazón giratorio por un tubo de alimentación que se extiende a lo largo de la flecha hueca del transportador de tornillo giratorio y es distribuido a través de puertas en la cámara principal dentro del tazón giratorio. La lechada forma un anillo concéntrico de líquido sobre la pared interna del tazón. Los sólidos se asientan en la periferia de la superficie del tazón giratorio debido a la gran fuerza centrífuga. Es posible variar tanto la profundidad del tazón, como su volumen, ajustando las placas del vertedero de rebosamiento o un espumador. El líquido rebosado es eliminado por bombeo o por gravedad. El transportador helicoidal giratorio empuja los sólidos a la sección cónica donde son forzados a salir del agua, y el agua libre se regresa a la cámara principal.

Las bombas alimentadoras de lechada deberán ser del tipo no pulsante. Una bomba de cavidad progresiva es recomendable, pues proporciona un desplazamiento positivo sin pulsaciones. Las bombas de alimentación de lodo y las que alimentan los productos deben estar interconectadas y tener interrupción automática al parar las operaciones de centrifugación o de transporte de la torta. Es común incluir un sistema de lavado por agua para baldear la máquina cuando sea desconectada. Esto proviene de la acumulación de sólidos que puede ocasionar vibraciones o ser causa de desequilibrio. Los lodos que pueden separarse más fácilmente y concentrarse con mayor espesor en la sedimentación simple son los que pueden desecarse más fácilmente por centrifugación.

2.8.3.2 FUNCIONAMIENTO DE CENTRIFUGADORAS DE TAZÓN SÓLIDO

Este tipo de centrifugadora puede compararse a un clarificador horizontal, en el cual se aplica la Ley de Stokes:

$$V = \frac{2R^2(S_1 - S_2)g}{9 \mu} \quad , \text{ donde}$$

V	= Velocidad de asentamiento	(cm/seg.)
R	= Radio de la partícula	(cm)
S ₁	= Densidad relativa de la partícula	(adimensional)
S ₂	= Densidad relativa del líquido	(adimensional)
g	= Aceleración de la gravedad	(cm/seg ²)
" μ "	= Viscosidad	(cm/seg)

La diferencia importante entre los procesos de sedimentación y centrifugación es que este último multiplica al factor "G" por 2,000 o 3,000. Otra diferencia es que la elevada fuerza gravitacional de la centrifugadora reduce la retención requerida, de manera que las partículas tienen que asentarse a una distancia muy pequeña, de centímetros, en vez de decímetros o de metros.

Deben considerarse diversas variables en la elección de una centrifugadora para aplicarla en un desecamiento específico. Las más importantes son el diseño del tazón, la velocidad de rotación y la velocidad de la espiral transportadora. Cuanto mayor sea la longitud del tazón, tanto mayor será el tiempo de retención, obteniéndose una torta más seca y un líquido efluente más claro. Sin embargo, la demanda de potencia también es mayor, ya que es proporcional al volumen contenido en la centrifugadora. A semejanza de la longitud del tazón, al aumentar el diámetro de la centrifugadora aumenta la sequedad de las partículas residuales y también la claridad del filtrado; pero se requiere también de una mayor potencia. Mayores diámetros requieren un balance más crítico ya que el centro de gravedad del tazón tendrá mayores excentricidades y se generará más vibración en la estructura de apoyo.

Como debe esperarse, las altas velocidades del tazón producen residuos sólidos más secos y efluentes más clarificados, pero se incrementa el desgaste de la máquina. Cuando se centrifuga agua que tenga sólidos en suspensión con cierto grado de abrasividad, es recomendable el uso de velocidades bajas. Al operar una centrifugadora para desecación deberán balancearse las siguientes variables para optimizar su funcionamiento:

- La velocidad de alevantación del lodo es una de las variables más importantes, puesto que afecta tanto la claridad del efluente, como la sequedad del retenido.
- A medida que se incrementa el influente, aumenta el rendimiento del equipo a expensas de la claridad del efluente y la humedad del retenido.
- Los flujos excesivamente altos pueden inundar la máquina y los flujos muy bajos pueden producir retenidos demasiado secos, produciendo un desgaste de la espiral transportadora.
- El efluente deberá ser bombeado a la máquina con una velocidad máxima tal, que no provoque el paso de un número de partículas finas al retenido (llamado también centrado).
La adición de coqueatos mejora resultados.
- El empleo de polielectrolitos aumenta la eficiencia de recuperación de las centrifugadoras; amplía también rendimiento y amplía el espectro de las características de las aguas y lodos que pueden ser procesados.

Los polímeros más activos son los de peso molecular más altos, ya sean aniónicos, no iónicos o catiónicos; según el lodo que desea desecarse. El grado de recuperación de los sólidos y la sequedad del retenido puede lograrse dentro de un intervalo amplio de acuerdo con la cantidad de coqueatos adicionados. En ocasiones es ventajoso añadir polímeros a la corriente influente para enlazar y flocular a las partículas más finas. Debido a que el tiempo de acondicionamiento es relativamente pequeño, es importante diluir los polímeros que se adicionen a un nivel tal, que logren una buena distribución en el influente, pues de otra forma se sobrecarga la máquina con los compuestos diluidos sin que se logre el efecto deseado.

3.8.4 EVALUACION DEL SISTEMA DE SEPARACION POR CENTRIFUGADO

Para determinar si un sistema es acertado, se analizarán los resultados obtenidos respecto a los deseados, considerando la sequedad de los re-

tenidos y la calidad del efluente.

RECUPERACION: Es la capacidad de la centrifugadora en el desecamiento; se expresa de ordinario en términos de porcentaje y es expresado como el cociente de:

$$\frac{C_i - C_o}{C_i} \times 100$$

donde:

C_i = Concentración de sólidos alimentados mg/l

C_o = Concentración de sólidos en el efluente (mg/l)

RENDIMIENTO: Es la cantidad de retenidos obtenidos en una hora, expresada en K_h de sólidos secos.

CALIDAD DEL EFLUENTE: Esto se referencia en base a la cantidad de sólidos suspendidos y es directamente proporcional a la recuperación.

SOLIDOS EN EL RETENIDO: El grado de sequedad que se desee en el retenido, dependerá de la disposición final que se dé a los sólidos. Si posteriormente los sólidos serán incinerados es deseable una humedad baja.

Debido a que sólidos excesivamente secos acarrear elevados costos de desecamiento, un mayor desgaste de la espiral y un rendimiento menor; la cantidad de sólidos contenidos en el retenido no deberá ser menor a la que en realidad se necesita para la disposición final.

2.9 AERACION

2.9.1 GENERALIDADES

La aeración es un proceso mecánico por el cual se procura un contacto íntimo del aire con el agua.

Aplicando el concepto en tratamiento de aguas, la aeración transfiere moléculas gaseosas, principalmente oxígeno del aire (fase gaseosa) al agua (fase líquida). Aunque a menudo la meta es disolver oxígeno en agua,

la aereación suele en ocasiones incluir también la remoción del agua de gases indeseables.

La aereación está casi siempre acompañada de otros procesos o reacciones que pueden ser de naturaleza física, molecular o bioquímica.

El mayor uso del equipo de aereación se encuentra en el campo de la oxidación bioquímica de desechos orgánicos, domésticos o industriales. Pero la aereación también se usa ampliamente para la oxidación de impurezas inorgánicas como, por ejemplo: hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno y para la remoción u oxidación de impurezas volátiles causantes de olor o mal sabor. La aereación cuyo objetivo es aumentar sólo el contenido de oxígeno en el agua, se lleva a cabo algunas veces en el último paso en una planta de tratamiento de agua o de desechos líquidos.

2.9.2 AERACION DE AGUA A TRATAR

Generalmente, se utilizan dos métodos para la aereación y agitación de la mezcla de aguas sucias y lodos ~~activados~~. Uno involucra aire difuso, usualmente, junto con equipo mecánico para la agitación y dispersión del aire. El otro método utiliza aire inducido o aspirado de la atmósfera, y aereación artificial. En el proceso de aire difuso, la mayor parte del oxígeno necesario llega en forma de pequeñas burbujas de aire, las que se difunden bajo presión en el fondo del tanque de aereación. En la aereación mecánica, el aire de la atmósfera se lleva hasta las aguas sucias mediante tubos de aspiración, hélices u otros aparatos. El objeto de la aereación es abastecer la cantidad necesaria de oxígeno, y entre más eficiente sea este abastecimiento, mayor será la capacidad de tratamiento. En algunos casos se utilizan ambos métodos de aereación.

Cuando se emplea aire comprimido, probablemente no se utiliza más del 10% del oxígeno con que se cuenta. En la aereación mecánica, el cambio de aire en gas o gotitas es eficaz, pero la proporción de dichas gotitas con el área total del tanque es pequeña y el cambio de oxígeno por unidad de tiempo es menor que en la aereación mediante la difusión de aire; a través

de una combinación de dispersión mecánica con aire difuso, se acelera el cambio y se aumenta la eficiencia del tratamiento. Puesto que el costo - también aumenta, se tiene un límite en la eficiencia que se puede obtener.

2.9.3 VOLUMEN DE AIRE NECESARIO

Existen numerosos criterios acerca de la cantidad de aire difuso necesaria para un tratamiento. Dos de los que se utilizan comúnmente son aire por litro de aguas sucias y aire por kilogramo de DBO eliminada. Es común la práctica de proporcionar de 7 a 13 lbs de aire libre por litro de agua tratada. La frescura de las aguas sucias afecta las necesidades de aire, ya que las aguas sucias carentes de oxígeno -pero aún sin descomposición interna-, utilizan el oxígeno del aire más lenta o menos eficazmente que las aguas frescas.

También los lodos carentes de oxígeno, pero aún sin descomposición, tienen una gran demanda de aire con alta cantidad de oxígeno. Una retención indebidamente prolongada en el tanque de sedimentación secundario es indeseable, pues fomenta luego, que requiera mucho más oxígeno que en lodos frescos.

2.9.3.1 VENTILACION

El aire difuso normalmente se aplica en el fondo del tanque o cerca de él, y se entrega a una presión de .5 a 1 Kg/cm^2 . En las plantas pequeñas se utilizan principalmente ventiladores rotarios de desplazamiento positivo y del tipo seco; en las grandes plantas se prefieren ventiladores centrífugos o turboventiladores. El aire que se proporciona a un ventilador debe estar filtrado para limitar el polvo y los aceites, los que tienden a generar obstrucciones. El contenido de polvo del aire, en la fuente de abastecimiento, no debe exceder de 2 $\frac{\text{g}}{100 \text{ m}^3}$ de aire libre, aunque lo deseable es una cantidad menor. Algunos fabricantes de equipo recomiendan un valor no mayor de .5 $\frac{\text{g}}{100 \text{ m}^3}$ de aire.

Los ventiladores de rotación positiva tienen eficiencias del orden del

70 al 80% de la potencia proporcionada y capacidades de hasta 1,500 m³ por minuto aproximadamente; los ventiladores centrifugos tienen capacidades de hasta 40,000 m³ por minuto. Se necesitan aproximadamente de 5 a 7 Hp por cada 1000 m³ de aguas sucias con una D.B.O promedio.

2.9.3.2 DIFUSORES DE AIRE

Existen diversas clases de materiales para su uso como difusores, los de cuarzo han sido hasta hace algunos años los más utilizados. Se utilizan tanto placas como tubos. Actualmente son muy empleados los de óxido de aluminio poroso. Las placas típicas son de 30 cms por lado y 2.54 cms de grosor. El área efectiva de estas placas es de unos .84 pies cuadrados por cada pieza. Los tubos típicos tienen una longitud de 60 cms y un diámetro interno de 7.62 cms con un espesor de paredes de 16 mm. Como un tercio del fondo del tubo no actúa como un difusor efectivo, el área de trabajo por tubo es de unos 1.25 pies cuadrados. Los tubos y las placas se obstruyen en el lado del aire debido a la materia suspendida en el aire, y en el lado del agua, debido a los sedimentos y a los crecimientos acuáticos.

Existen también los difusores oscilantes que tienen la ventaja de una mayor movilidad, tanto para su funcionamiento, como para su inspección.

2.9.3.3 PERMEABILIDAD DEL DIFUSOR

Los difusores se clasifican por su habilidad para pasar aire bajo ciertas condiciones típicas especificadas. La permeabilidad se define como el volumen de aire en pies cúbicos a 70° F, con un 10 al 25% de humedad relativa, que pasa a través de un área de 1 pie cuadrado de placa porosa seca en 1 minuto bajo una presión equivalente a 5 cms de agua. Generalmente se utilizan placas con una permeabilidad variable entre 40 y 60. Las placas con mayor permeabilidad se obstruyen menos fácilmente y requieren un poco menos de potencia para aire comprimido, pero producen burbujas menos eficientes.

2.9.3.4 COLOCACION DE LOS DIFUSORES

Las placas generalmente se colocan en o cerca del fondo del tanque de

aeración. Los tubos, por lo general, se suspenden; usualmente se colocan un poco más abajo de las $3/4$ partes del tanque. Tanto los tubos como las placas se encuentran en montajes que permiten su retiro del tanque para fines de inspección.

Cuando la mezcla de aguas sucias y lodos activados entra al tanque de aeración, tiene una gran demanda de oxígeno; a medida que las aguas sucias continúan su paso a través del tanque, la demanda disminuye.

Es por tanto, deseable utilizar aeración graduada para proporcionar el aire en cantidades proporcionales a la decreciente demanda de oxígeno. Existen diferentes modos de colocación de los difusores para producir una aeración graduada. Se pueden colocar dos, tres o cuatro hileras de difusores cerca de la entrada, disminuyendo hasta una hilera en la salida, o se pueden colocar espacios sin difusores o espaciamientos cada vez mayores cerca del extremo de la salida. Generalmente, cerca de la mitad del área de difusión puede colocarse en el primer cuarto de la longitud del tanque; cerca de un cuarto del área de difusión en el segundo cuarto del tanque, y el resto del área de difusión en la mitad de salida del tanque. Se debe estar seguro de que existe aire suficiente y de que está distribuido de modo tal, que el oxígeno disuelto aparezca cerca del efluente y se retenga a todo lo largo del tanque.

2.9.4 AERACION MECANICA DE AGUAS A TRATAR

2.9.4.1 TANQUE PARA AERACION MECANICA

Cuando se utiliza aeración mecánica, se usan tanques que pueden ser:

- A) Redondos
- B) Cuadrados
- C) Rectangulares
- D) Hexagonales

Los tanques suelen tener profundidades de 2.5 a 5 mts y llegan a tener hasta 6 mts. Las dimensiones horizontales de cada lado varían de 4 a

1) mts. Los tanques pueden tener una forma de tulva o ser de fondos planos, dependiendo esto del diseño del equipo de aereación.

Debido a que la capacidad de oxigenación en un aereador mecánico generalmente es menor que la obtenida mediante aire difuso, la concentración de sólidos en el licor mixto del tanque de aereación también es baja, y se necesita un periodo de aereación mayor y un tanque de aereación también mayor. Los proyectos usualmente consideran un periodo de retención de 8 horas para las aguas sucias más los lodos de retorno.

2.9.4.2 TIPOS DE AERADORES MECANICOS

En efecto, el aereador mecánico está hecho para producir una aereación superficial de las aguas sucias mediante agitación, y al mismo tiempo, producir un movimiento circular o helicoidal, siendo el objeto de esto evitar la sedimentación de los sólidos y obtener una aereación máxima. Es común producir el movimiento mediante la acción de paletas giratorias o mediante una hélice. Los métodos más recientes combinan el uso de aire con el equipo mecánico. También se puede emplear una turbina mezcladora de alta velocidad con un rociador para producir las finas burbujas para la eficiente transferencia de oxígeno. En otros métodos el aire se pasa a través de un eje hueco giratorio. Estas y otras mejoras tienen como fin aumentar las velocidades de oxigenación, lo que permitirá una mayor concentración de sólidos y un mayor volumen de floculos en un tanque de volumen dado.

Existen en el mercado unidades completas para pequeñas instalaciones, tanto completamente mecánicas como combinadas con aire. Las aguas negras entran por el fondo y se derraman por un vertedor periférico en la parte superior. Otro tipo de aereador es el de choque, en el que el aire sale a través de grandes aberturas y choca con una corriente de agua de alta velocidad.

3. TECNICAS QUE INVOLUCRAN LA ADICION DE COMPUESTOS Y SUBSTANCIAS

3.1 ROMPIMIENTO DE EMULSIONES

Se llama emulsión a la mezcla de dos sustancias líquidas, que a pesar de haberse mezclado, no forman una nueva sustancia en sí, pues con el reposo y el tiempo tenderá a separarse. Los tipos existentes de emulsiones son los de aceite en agua (AC/AG) y las de agua en aceite (AG/AC).

3.1.1 EMULSIONES ACEITE EN AGUA

En ellas, el aceite está disperso en la fase acuosa. Los aceites pueden extraerse del agua mediante hexano, tetracloruro de carbono, cloroformo ó freón. Este tipo de emulsiones puede llevar sólidos, linos, partículas metálicas, emulsificadores, limpiadores, jabones, solventes y otros residuos.

El caso de aceite, pueden ser grasas, lubricantes, fluidos para corte, hidrocarburos pesados como combustóleo, petróleo, diesel ó también hidrocarburos ligeros como: gasolina, kerosenos y aerolíneas. Su concentración en el agua de desecho puede variar desde unas pocas partes por millar hasta el 5 y 10% en volumen.

Las emulsiones de aceite en agua que son estables forman sistemas coloidales. Partículas sólidas, finas, pueden estabilizar una emulsión si su tamaño y abundancia son adecuados.

También pueden estabilizarse las emulsiones por la fricción entre las fases del agua y del aceite que se produce en una vigorosa agitación mecánica o física.

Un emulsificador es una molécula compleja que a menudo tiene en un extremo un grupo afin al agua hidrofílico y un grupo afin al aceite liofílico en el otro. Los emulsificadores dispersan las gotas de aceite, ya que poseen una afinidad tanto por el agua, como por el aceite que les permite superar las fuerzas naturales de coalescencia.

La mayor parte de los emulsificadores son agentes de superficie que poseen grupos polares aniónicos o no iónicos. Los sulfonatos de petróleo o los ácidos grasos sulfonados son emulsificadores no iónicos de uso común. Ejemplos de agentes de superficie naturales son

los compuestos orgánicos de azufre, diversos ésteres simples y complejos metálicos. Muchas aguas residuales llevan limpiadores alcalinos que contienen agentes de superficie, los cuales emulsifican los aceites libres.

ROMPIMIENTO DE EMULSIONES ACEITE EN AGUA

Este tipo de emulsiones puede romperse empleando métodos físicos, electrofíticos o por adición de substancias. Al rompimiento de una emulsión también se le llama resolución, ya que su resultado es la separación en sus partes, de la mezcla original. Es frecuente la adición de compuestos en el tratamiento de aguas de desecho aceitosas. Al romper las emulsiones, deberán neutralizarse los factores estabilizantes y permitir que se agrupen las gotas emulsificadoras. Se neutralizan las cargas eléctricas acumuladas sobre las gotitas emulsificadoras introduciendo una carga eléctrica de signo opuesto a la de la gotita. Los compuestos o substancias rompedoras de emulsión suministran esta carga de signo opuesto. Las características dieléctricas del agua y las del aceite hacen que las gotitas emulsificadas de aceite porten cargas negativas. En consecuencia, para desestabilizar una emulsión AC/AG, debe emplearse un desemulsificante de carga positiva llamado catiónico.

El resultado de esto debe, idealmente, producir una capa de aceite y una capa de agua. Pero en la práctica, no se llega a una respuesta tan completa, y se generan la capa de agua y otra con las partículas solidas, muy pequeñas, el aceite y el emulsificante neutralizado.

En el tratamiento de un agua aceitosa hay 2 pasos básicos: Coagulación y Floculación. En la primera se cancelan las propiedades emulsificantes del agente activo de superficie o se neutraliza la gotita de aceite cargada; luego, en la floculación, se aglomeran las gotitas neutralizadas en gotas mayores, éstas tienden a flotar más rápido y adhieren a las gotitas más pequeñas que se encuentran a su paso ó durante su ascenso hasta la superficie.

Para el tratamiento de agua de desecho aceitosa, es común el empleo de ácido sulfúrico en las plantas de tratamiento como pri-

mer paso en el rompimiento de la emulsión. El ácido convierte al ión carboxilo del agente de superficie, en ácido carboxílico, permitiendo que se aglomeren las gotitas al aceite. Algunos compuestos coagulantes, como las sales de hierro y de aluminio, pueden actuar como lo hace el ácido y además acelerar la formación de gotas de mayores dimensiones que lleguen a flotar en tiempos menores.

La desventaja del uso de sales de hierro o de aluminio es que los lodos formados son difíciles de desecar. En términos generales, se puede decir que para romper emulsiones, la práctica más recomendable es usar ácidos.

Entre los desemulsificadores, los orgánicos son altamente efectivos, ya que producen resultados mejores tanto cuantitativa como cualitativamente respecto de los inorgánicos.

En las unidades de desemulsificación por flotación, se inyecta aire a presiones de 2 a 5 Kg/cm² el cual es disuelto en el líquido; luego se libera la presión y el líquido se sobresatura de aire y forma pequeñas burbujas. Estas burbujas de un diámetro de 10 a 100 micras, tienen de ordinario una carga negativa pequeña. Pueden chocar con las partículas suspendidas en el líquido y pueden ligarse entre ellas dentro del flóculo mediante adhesión, absorción ó entrapamiento, ya que la densidad de esta partícula, combinada aire-sólido ó aire-líquido es menor que la del agua; la partícula subirá a la superficie y ahí se combina con otras partículas para formar una espuma, ó un flotante, que puede ser eliminado por desnatadores mecánicos. Hay tres tipos de sistemas de flotación por aire disuelto; aereación directa, aereación parcial y recirculación del efluente. La experiencia ha demostrado que la recirculación del efluente es por lo común el más eficiente para la eliminación del aceite. Este incluye el sometimiento a presión y aereación de una corriente lateral del efluente clarificado; entonces se mezcla ésta caudal con la corriente de desecho pretratada en el tanque de flotación. Pueden emplearse compuestos orgánicos ó inorgánicos, rompedores de la emulsión en un desecho aceitoso para desestabilizar y aglomerar la suspensión coloidal de aceite. Es práctica común en las plantas de tratamiento que manejan agua con desechos aceitosos, alimentar el rompedor de emulsiones en el

lado de succión de la bomba de levantamiento o en el tanque de mezclado instantáneo, y un coagulante inorgánico auxiliar en el lado de la descarga de la bomba. Puede añadirse un polímero de peso molecular elevado a la corriente recirculada antes de que entre a la unidad de flotación.

Cuando se emplea con emulsiones la ultrafiltración, se fuerza el paso de la emulsión aceitosa a través de poros menores de .005 micras en membranas especiales; sólo el agua o los materiales disueltos de bajo peso molecular pueden pasar a través de la estructura porosa de la membrana, dejando un concentrado de gotitas de aceite emulsificadas, a partículas suspendidas. Como en el caso de la filtración ordinaria, el filtro no se atasca ya que las partículas son mucho mayores que los poros y no penetran en la estructura de la membrana. Se ha empleado la absorción por carbón activo para limpiar agua que contiene cantidades menores de 100 ml/l de contaminantes orgánicos solubles y emulsificados. Los coalescedores se usan cuando el agua aceitosa puede contener aceite, tanto en estado libre, como en estado débilmente emulsificado; los lastres de buques petroleros y las salmueras de los campos petroleros, son ejemplo del caso.

Existen multitud de diseños que usan desde los recipientes simples con mampara, donde se induce la coalescencia por una corriente turbulenta, hasta los dispositivos complejos que emplean membranas que permiten el paso del agua, pero no del aceite.

3.1.2. EMULSIONES AGUA EN ACEITE

Las emulsiones AG/AC, son sustancias viscosas, concentradas, que se forman cuando el aceite llega a ponerse en contacto con agua y sólidos. Las partículas metálicas y otros sólidos, pueden estar cubiertos de agentes de superficie, de tal modo que son humedecidos de preferencia por el aceite más que por el agua o cuando por alguna circunstancia se tiene agitación, el agua llega a dispersarse en el aceite como una emulsión fina; y estas gotitas junto con los sólidos recubiertos de aceite, mantienen estable la solución. Existen muchos tipos de emulsiones agua en aceite.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Entre las substancias cuya presencia es común y que promueve o estabiliza las emulsiones AG/AC, están: jabones, ceras, sal, residuos asfálticos, aceites sulfurados, coque finalmente dividido, sulfatos y mercaptanos. Resultan también muy efectivos para esta bilizar estas emulsiones, los sólidos finamente divididos, cuyo tamaño varía desde el coloidal hasta 100 micras ó más.

Las emulsiones agua en aceite, pueden romperse por métodos físicos ó químicos que incluyen calentamiento, centrifugación y filtración al vacío. La centrifugación rompe las emulsiones de aceite de desecho, puede lograrse por filtros rápidos de arena ó por filtros de tierra de diatomeas.

El tratamiento de una emulsión de aceite de desecho, tiene el objetivo de desestabilizar las gotas de agua y los sólidos dispersos, o destruir los agentes emulsificantes. La acidificación puede ser efectiva en el rompimiento de las emulsiones AG/AC, si el ácido disuelve algunos de los materiales sólidos reduciendo así la tensión superficial.

El método más reciente incluye el tratamiento de una emulsión AG/AC con un agente desemulsificante que contenga grupos tanto hidrofóbicos, como hidrofílicos, y es capaz de producir un complejo de absorción que sea humedecido por el agua. Puede explicarse mejor el mecanismo del rompimiento de una emulsión AG/AC, considerando que el agente emulsificador original es desplazado de la entrecarga por un material desemulsificante con mayor actividad de superficie. Este proceso puede ser estimulado por medio del calentamiento para reducir la viscosidad y aumentar la solubilidad y la rapidez de difusión del agente emulsificante en la fase aceitosa, ya que las gotitas de agua en la fase aceitosa, tienden a cargarse positivamente, el tratamiento típico de estas emulsiones deberá incluir un rompedor de emulsión orgánico aniónico de carga negativa. Puede también emplearse la combinación de ácido y un rompedor orgánico de emulsión.

En todos los casos, los reactivos de tratamiento deberán mezclarse perfectamente en las emulsiones AC/AG, para producir un contacto íntimo con las gotitas de agua emulsificadas.

Al calentar la emulsión entre 50 y 80 °C, se produce con fre-

cuencia una separación rápida. El tiempo de asentamiento deberá ser adecuado para lograr una resolución óptima de las fases del aceite, del agua y de los sólidos.

3.1.3 TIPOS DE ROMPEDORES DE EMULSIONES

INORGANICOS: Sales metálicas polivalentes como: alumbre, $AlCl_3$, $FeCl_3$ y $Fe_2(SO_4)_3$, con carga catiónica, son usadas para emulsiones AC/AG.

Acidos minerales como H_2SO_4 , HCl , HNO_3 ; poseen carga catiónica y son usados tanto para emulsiones AC/AG, como AG/AC.

Absorbentes conformados por partículas sólidas que se añaden; como en los casos de la arcilla pulverizada y la cal, no poseen carga y son empleados para emulsiones AC/AG.

ORGANICOS: Poliaminas, poliacrilatos y sus copolímeros sustituidos, ácidos, beceño y otras sustancias que posean carga catiónica; se emplean en emulsiones AC/AG. Acidos bencensulfónicos -- sustituidos con alquilo y sus sales poseen carga aniónica, y se emplean en emulsiones AG/AC. Resinas alquilfenólicas y polialcoholes sustituidos, tienen carga no iónicas y se emplean en emulsiones AG/AC.

3.2. NEUTRALIZACION

Entre los procesos más comúnmente empleados en el acondicionamiento de agua, se encuentran reacciones ácido-base. Los ácidos y las bases poseen un costo relativamente bajo dentro de los productos para acondicionamiento de agua.

Dichos productos son por lo común:

Acido sulfúrico	H_2SO_4
Acido Hidroclorídrico	HCL (ácido muriático)
Cal	CaO
Caliza	Ca CO_3
Cal hidratada	Ca $(OH)_2$
Sosa comercial	Na_2CO_3

Sosa cáustica
Amoníaco

(NaOH)
(NH₃)

Además de estos productos, existen otros que posee valores residuales de ácido, o base que pueden ser empleados para la neutralización en el acondicionamiento de aguas. Por ejemplo: licor ácido proveniente de la industria del acero, es útil tanto por su valor como ácido, como por el hierro que contiene en forma coagulante; el lodo del ablandamiento con cal-carbonato, es una buena fuente de álcalis para la neutralización de desechos ácidos.

El avance en la neutralización de un ácido ó de una base, se mide fácilmente por el pH. El tratamiento de un desecho de agua ácida puede ser bastante sencillo, puesto que el intervalo permisible del pH del efluente, es relativamente grande de ordinario entre 5 y 9.

En algunos casos, para que el agua que se utiliza en un proceso sea de calidad satisfactoria, requiere de neutralización bastante precisas de la acidez o la basicidad. También, muchas aguas subterráneas contienen cantidades tan elevadas de bióxido de carbono, que son demasiado ácidas. La aereación elimina el bióxido de carbono pero no por completo, y por ello, el pH puede seguir siendo tan bajo, que el agua puede ser aún corrosiva.

Cuando la cantidad de agua que debe tratarse es pequeña, pueden utilizarse filtros de calcita, que son recipientes a presión llenos de mármol pulverizado. El carbonato de calcio neutraliza el ácido carbónico y el agua se estabiliza al mismo tiempo. La estabilización significa que la relación alcalinidad pH se ajusta en forma automática para proporcionar un agua que no sea corrosiva y que tampoco forme depósitos.

Cuando se requiera procesar grandes volúmenes de agua, es recomendable adicionar un álcali. El dosificador de la solución alcalina, alimenta en forma continua una solución acuosa de sosa cáustica, carbonato de sodio o lechado de cal. La adición debe hacerse a una velocidad controlada a fin de mantener el valor deseado del pH; el control puede ser manual o automático; este último mediante un registrador controlador de pH. La neutralización no es instantánea y se requiere un período de contacto que por lo

general no sobrepasa los cinco minutos. La solución alcalina puede dosificarse por gravedad o bombeándola a la corriente que se va a tratar. Los tanques de almacenamiento del líquido se diseñan casi siempre para una operación de 12 a 24 horas entre cada rellenado.

Los compuestos que pueden también ser adicionados en seco; en este caso, sólo se pueden utilizar carbonato de sodio ó cal, debido a que la sosa cáustica es demasiado higroscópica para permitir una dosificación uniforme.

Las máquinas de dosificación en seco, funcionan sobre el principio volumétrico de que en cada dosis se desplaza una cantidad fija, ó bien, en forma gravimétrica, pesando continuamente el flujo de material seco.

El compuesto seco se descarga a una caja mezcladora y posteriormente se aplica. Estas máquinas pueden responder automáticamente en función de las variaciones del pH.

Cuando se emplean métodos de suavizamiento con cal o carbonato, el efluente contendrá una alcalinidad cáustica. Casi siempre este exceso de alcalinidad debe neutralizarse, lo cual se logra añadiendo ácido, por lo general sulfúrico o carbónico. La cantidad de ácido dosificada se determina de acuerdo con el valor de PH que se busca. Usualmente el control se realiza por medio de una unidad registradora-controladora de PH.

En volúmenes de agua pequeños, pueden emplearse soluciones ácidas al 10%, y cuando existen volúmenes muy grandes, se puede dosificar ácido concentrado. En la descarga de aguas a las corrientes, deben neutralizarse los ácidos y los álcalis libres, lo cual significa neutralizar hasta el punto equivalente del anaranjado de metilo y de la fenoftaleína respectivamente. Sólo en contadas ocasiones se hace necesario sobrepasar un PH de 4.6 o reducirlo por debajo de 8.3. El agua de desecho neutralizada no reduce la alcalinidad total de la corriente receptora. Es muy difícil mantener valores de PH mayores de 5, ya que al acercarse a la neutralidad cualquier incremento en la dosificación de álcalis, por ligero que sea, produce variaciones marcadas del PH.

Cuando existen efluentes ácidos y alcalinos, la opción óptima es combinar las cantidades idóneas de ambos efluentes para ase

gurarse una neutralización satisfactoria. En aguas que deben neutralizarse, se requiere tener en cuenta el tipo de los ácidos presentes, así como su concentración. Algunos ácidos como el clorhídrico ó el nítrico, pueden neutralizarse con cal sin mayores problemas, ya que las sales producidas son solubles en concentraciones elevadas. Cuando se trata del ácido sulfúrico y si se va a utilizar cal con un alto contenido de calcio, existe un límite definido; si se desea evitar la formación de depósitos de sulfato de cálcio, la concentración de ácido debe mantenerse por debajo del .3%. Cuando se emplea cal dolomítica, se pueden manejar con todo éxito concentraciones hasta de 1%. Si hay otros ácidos presentes, también debe tomarse en cuenta que la solubilidad del sulfato de calcio disminuye. Por ejemplo en una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico, en donde se neutraliza éste último, la solubilidad del sulfato de calcio se redujo de un valor aproximado de 2 g/l hasta 1.1 g/l.

Los ácidos pueden neutralizarse por flujo ascendente a través de lechos de caliza granular con velocidades de flujo de 950 a 1500 litros por minuto por cada m^2 , con espesor de lechos de .9 a 1.5 m. de profundidad colocados en tanques resistentes a los ácidos. Este método es muy efectivo debido a la turbulencia que se crea conforme el agua se hace fluir en forma ascendente. Cuando se neutraliza ácido sulfúrico, es necesario evitar la sulfatación o de lo contrario las partículas de piedra caliza se aglutinarán.

En el manejo de grandes volúmenes de agua y cuando se desean evitar los altos costos de bombeo, se utiliza el flujo por gravedad a través de los filtros. Existen grandes variaciones en la velocidad de flujo y en la concentración del ácido. En estos casos, pueden emplearse neutralizadores de etapas múltiples, que constan de varias cámaras en serie, el máximo suele ser de seis; cada una de las cámaras contienen un mezclador mecánico. El agua de desecho fluye de la parte superior de la cámara hacia la base de la siguiente; proporcionando con ello, el tiempo de reacción suficiente y evitando las corrientes en cortocircuito. Cuando se emplea lechada de cal, ésta se alimenta a cámaras alternas y la velocidad de dosificación se regula por medio de controladores registrado--

res de PH. Las primeras cámaras del neutralizador múltiple, funcionan como unidades igualadoras y las alternas como tanques de reacción.

Las lechadas de cal suelen prepararse al 10%. En instalaciones medianas y grandes pueden neutralizarse con facilidad efluentes de 600 a 4000 m³ por día, requiriéndose consumos de cal de unas 120 toneladas diarias.

Aunque la cal no se emplea siempre, ya que es más difícil de manejar que el cáustico líquido o el carbonato de sodio, cuando se le emplea en grandes cantidades, se compra como cal viva CaO y apagada Ca(OH)₂. El peso equivalente de la cal comercial 93% - Ca(OH)₂, es alrededor de 40, de modo que la cal, como carbonato de calcio multiplicada por .8 da los requerimientos de cal comercial.

El agua a la que se le ha adicionado cal, en ocasiones permanece saturada de carbonato de calcio, en tales casos puede añadirse luego un poco de ácido.

Se pueden calcular con cierta facilidad las cantidades necesarias de compuestos para neutralizar aguas. En general, suele requerirse de 1 mg/l de ácido sulfúrico al 66% por cada mg/l de reducción de alcalinidad necesaria; y, a su vez, una reducción de acidez y aumento de alcalinidad requiere la adición de .8 mg/l de cáustico o cal de cada mg para aumentar en la alcalinidad que se requiere. Estos cambios en la alcalinidad se calculan sobre la base de los equivalentes de carbonato de calcio y se convierten entonces en peso equivalente de álcali o ácido comercial añadido al sistema.

3.3 COAGULACION

3.3.1 FINALIDAD DE LOS COAGULANTES Y MODOS DE ACTUAR

Las velocidades de sedimentación de la arcilla coloidal y finamente dividida son tan pequeñas que su eliminación en un tanque de sedimentación es imposible en condiciones ordinarias sin tiempos de retención muy largos. Por ello ha sido necesario idear medios para coagular las partículas muy finas en otras mayores, --

con mayores velocidades de sedimentación. La coagulación del agua es un proceso que implica principios físicos. Se consigue añadiendo al agua ciertos productos denominados coagulantes, siendo lo más comúnmente empleado: los sulfatos de aluminio y hierro. La coagulación tiene lugar en tres etapas, conforme se va disolviendo el coagulante, se forman iones de aluminio o férricos positivos que neutralizan las cargas negativas de las partículas de turbidez, incluyendo la arcilla coloidal y el color. Esta es la primera etapa de la coagulación, que requiere para su mayor eficacia, una rápida e íntima mezcla antes de que tengan lugar reacciones secundarias. Una vez que las cargas positivas han neutralizado una gran parte de las partículas de color o de turbidez coloidal, los flóculos resultantes son todavía demasiado pequeños para que puedan verse, o para que puedan sedimentar por gravedad. Además en el ámbito de acidez en que generalmente se realiza la coagulación, retienen todavía cargas positivas, debidas posiblemente a la absorción de iones positivos del agua. En otras palabras los flóculos positivos resultantes, todavía poseen la propiedad de neutralizar coloide negativo.

La coagulación de aguas claras, poco turbias, puede ayudarse mediante el empleo de agentes tales como la arcilla finamente dividida y la sílice activada. La coagulación eficaz requiere además de una dosificación correcta del coagulante y de los productos auxiliares que se adicionan.

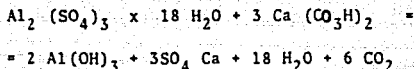
Los coagulantes comúnmente empleados son: el sulfato de aluminio, generalmente denominado alumina, y el sulfato ferroso, denominado también caparrosa; en combinación con la cal. Este proceso a veces recibe el nombre de tratamiento al hierro y a la cal, también se emplea en menor escala: el cloruro férrico, el sulfato férrico, el aluminato sódico, y la caparrosa clorada.

En general, la cal se emplea sólo como producto auxiliar, pero si se añade a un agua que contenga bicarbonato, produce también un precipitado denso, no fluculado, el carbonato clásico, que tiene algún poder clarificador que, también se le puede emplear como un verdadero coagulante en aguas con alto contenido de magnesio. En este caso la cal hace precipitar hidróxido de mag-

nesio en forma de flóculo, que tiene propiedades muy similares a los del aluminio y hierro. En el ablandamiento por la cal, de aguas que contengan magnesio, dá una buena coagulación y clarificación.

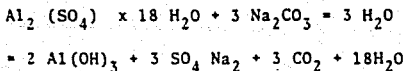
3.3.2 SULFATO DE ALUMINIO

El sulfato de aluminio requiere alcalinidad en el agua para formar los flóculos. Muchas aguas tienen la alcalinidad natural, debida a los bicarbonatos, y ocurre la reacción:



El hidróxido de aluminio constituye el flóculo. Todo el aluminio añadido precipita y aumenta la dureza, debida a los no carbonatos, originada por el sulfato cálcico, así como también se incrementa la cantidad de bióxido de carbono disuelta.

La alcalinidad natural de algunas aguas es insuficiente para la reacción con el sulfato de aluminio, y en estos casos se añade generalmente cal. La cal, CaO, se une al agua para formar el hidróxido cálcico, Ca(OH)₂, al cual reacciona con el sulfato de aluminio según la reacción:



La ventaja del empleo de carbonato de sodio consiste en que no añade dureza alguna aunque aumenta ligeramente la corrosividad. Es más costoso que la cal.

En general, el sulfato de aluminio es de uso muy popular en las instalaciones de tratamiento; entre otras de sus cualidades es tá el no intensificar el color que puede llevar el agua y más bien reducirlo algo.

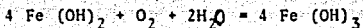
3.3.3 EL SULFATO FERROSO Y LA CAL

El sulfato ferroso reacciona también con el bicarbonato cálcico del agua, pero ésta reacción es más lenta. La alcalinidad caú

tica que es la que se consigue añadiendo cal al agua, activa la --
reacción. La reacción que ocurre es:



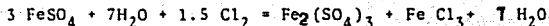
El hidróxido ferroso, Fe(OH)_2 , que precipita, si el pH del --
agua se ha elevado a 9.5, se oxida por acción del oxígeno, según
la ecuación.



El flóculo final es el hidróxido férrico, Fe (OH)_3 . El uso
de cal y hierro produce poca dureza y corrosividad. Este proceso
es más barato que el que emplea sulfato de aluminio, pero requiere
de precisión en la dosificación de los 2 productos, pero el color
del agua en ocasiones llega a aumentar. Las aguas blandas, pue-
den adquirir alcalinidad cáustica, debido al empleo de un exceso
de cal.

3.3.4 CAPARROSA CLORADA

Esta combinación se utiliza con éxito en algunas plantas de
tratamiento. Se añade cal en la forma normal, pero se introduce
el cloro en solución en la línea de conducción del sulfato ferro-
so; las reacciones son:



El sulfato y cloruro férricos se producen instantáneamente, y
quedan inmediatamente disponibles para la formación de los flócu-
los de hidróxido férrico. El cloruro férrico reacciona con la al-
calinidad natural y con la cáustica.

La proporción teórica de cloro a caparrosa es de 1 a 7.8 - -
En la práctica es necesario un pequeño exceso de cloro.

3.3.5 OTROS COAGULANTES

El aluminato sódico, Na AlO_2 , es alumina que ha sido estabi-
lizada con hidróxido sódico. Se puede adquirir en forma líquida
o como polvo con un contenido aproximado del 88% de producto puro.

El flóculo de hidróxido de aluminio es semejante al de la alu

mina; las ventajas es que no hay que añadir luego alcalinidad al agua. En aguas ácidas, la combinación de sulfato de aluminio y aluminato sódico, requiere menos alúmina. En aguas frías se coagula bien con adición de 3.4 ppm de aluminato sódico o de alumina.

LOS ALUMBRES AMONIACALES Y POTASICOS

No se emplean mucho en las instalaciones de tratamiento de agua, sino como tratamiento primario en el trabajo con filtros a presión en plantas industriales y en piscinas. El alumbre se coloca en un depósito a través del cual se hace pasar agua bajo presión para disolver parte del mismo y la solución formada se inyecta al agua antes de los filtros. Estos alumbres se disuelven más lentamente que el sulfato de aluminio; Presentan menos tendencia a obstruir las tuberías, y son más apropiados para la alimentación mediante depósitos.

3.3.6 CONTROL DE COAGULACION

La dosificación del coagulante se expresa generalmente en partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/l) o gramos por metro cúbico. Teóricamente las cantidades de productos auxiliares necesarios por cada ppm de coagulantes, son las siguientes:

Coagulante	ppm
Alumina	
Alcalinidad natural	.4505
Cal, CaO	.2524
Cal, Ca(OH) ₂	.3336
Sosa, CO ₃ Na ₂	.4773
Sulfato Ferroso	
Cal, Ca(OH) ₂	.2665
Cal, CaO	.2017
Cloro	.1225

La cantidad de coagulante necesario para la clarificación, debe determinarse mediante ensayos de laboratorio. El valor del ph del agua tiene un gran efecto sobre la eficacia de la coagulación. En términos generales, los valores óptimos de ph de coagulación de los distintos coagulantes son:

<u>COMPUESTO</u>	<u>pH</u>
Alumina	4.0 a 7.0
Sulfato Ferroso	8.5 y más
Caparroso Clorada	3.5 a 6.5 y más de 8.5
Cloruro Férrico	3.5 a 6.5 y más de 8.5
Sulfato Férrico	3.5 a 7.0 y más de 9.0

Fuera de estos ámbitos, la coagulación es menos efectiva y, por lo tanto, más cara. Algunas aguas presentan zonas de pH óptimo. El hecho de que la alumina generalmente actúe mejor en la zona ácida, sugiere el empleo del ácido sulfúrico para el tratamiento de agua, esto ahorra alumina, pero aún no ha conseguido convertirse en una práctica generalizada.

3.4 FLOCULACION

3.4.1 GENERALIDADES

El lento movimiento del agua coagulada favorece la formación de masas de flóculo y efectúa el contacto y ligazón entre sí, de las materias en suspensión del agua, facilitando una rápida y eficiente clarificación y sedimentación. El método más antiguo de conseguir la floculación, consistía en combinar la mezcla con la floculación en tanques provistos de pantallas que obligan la circulación del agua en zig-zag, horizontal o vertical, pero presentan el efecto indeseable de una gran pérdida de carga y de concentrar la turbulencia en los recodos, lo cual tiende a disipar las masas floculadas, los tiempos de retención, en cámaras de estos tipos, eran de 20 a 30 minutos. El método de floculación más corriente hoy en día utiliza medios de agitación mecánica empleando generalmente agitadores de palas y ocasionalmente palas de movimiento alternativo ó aire a presión. Los tiempos de retención en cámaras de este tipo son de 30 a 60 minutos. Cada día son más preferidos los períodos más largos.

La floculación es el resultado de las diferencias o gradientes de velocidad en el agua, lo que origina los contactos entre las masas de flóculo que se mueven. Asimismo originan fuerzas de rozamiento en las superficies de los distintos planos del agua que para con

trastrestarlas es necesario aplicar una agitación continua.

En los tanques provistos de pantallas, la pérdida de carga origina turbulencia en los recodos, y el rozamiento a lo largo de las paredes origina también gradientes de velocidad. En los tipos de agitación mecánica, la potencia debe aplicarse a las paletas rotatorias, en los bordes de las cuales se producen dichos gradientes de velocidad.

Es recomendable la instalación de pantallas entre los diferentes rotores de paletas. El trabajo de rozamiento por unidad de volumen y tiempo en cualquier punto se le llama:

FUNCIÓN DE DISIPACION. El valor medio de la función de disipación, es igual a la potencia total de disipación dividida por el volumen de la cámara o tanque y se le designa con la letra "W". El GRADIENTE DE VELOCIDAD CUADRÁTICA MEDIA se define como:

$G = (W/\mu)^{1/2}$ en la cual "G" es el gradiente de la velocidad cuadrática media en el tanque en metros por segundo por metro y " μ " es la viscosidad absoluta del agua en Kg-seg por metro cuadrado. La llamada "función de disipación" W, ha de expresarse en $\text{Kg} \times \text{m}/\text{seg}/\text{m}^3$. Así pues, la velocidad de formación de flocular será directamente proporcional al valor de G, y cuanto mayor sea su valor, más corto será el tiempo requerido para la formación de floculo. Sin embargo los valores de G excesivamente altos llevarán a fuerzas de rozamiento excesivas, las cuales pueden tender a desmenuzar las partículas de floculo, y éstos, conforme se van formando, se harían más débiles. Esto lleva a la conclusión de que la floculación debe proceder preferiblemente por pasos, disminuyendo lentamente los valores de G, conforme el agua avanza a través del tanque. En los floculadores de paletas puede conseguirse esto disminuyendo las velocidades de las mismas a lo largo del tanque floculador.

El tiempo de retención será también un factor importante en el proceso de floculación, se denomina T.

El proyecto de un tanque de floculación empleando paletas rotatorias, consiste en, adoptar por tanteo las dimensiones del tanque, las velocidades y dimensiones de las paletas, calcular la potencia necesaria y determinar los valores de G y $G \times T$. Estos últimos de-

ben encontrarse dentro de los valores aceptados. Una vez que se ha calculado G, puede considerarse esa magnitud como promedio y aumentar las velocidades de las palas cerca de la entrada y disminuirla hacia la salida.

Es aconsejable disponer de velocidades variables, mediante el empleo de motores apropiados, una vez que ha empezado la operación. Las velocidades periféricas de las palas oscilan entre 18 y 75 m/seg. Por lo general la velocidad del agua será, cuarta parte, de la velocidad de las palas, es decir, la diferencia de velocidades unitaria de .75 siendo la relación: $(V_2 - V_1)/V_2$, donde V_2 será la mayor de ambas velocidades; si $V_1 = V_2/4$ $(N_2 - V_2/4) / V_2 = 3/4 = .75$

El área total de las palas no debe ser superior al 15 o 20% del área de la sección recta del tanque, pues de lo contrario puede producirse el arrastre o la rotación total de la masa del agua, sin los necesarios gradientes de velocidades. La potencia requerida para contrarrestar la resistencia de una sola pala rotatoria será igual al producto de la fuerza de rozamiento, por su velocidad relativa respecto al agua:

$$W' = F V = C A \text{ "Ro" } \frac{V^3}{2}$$

$$= C A \frac{1000}{2 \times 9.8} V^3 = 51 C A V^3$$

en donde W' es la potencia requerida en kilogrametros por segundo, F el rozamiento, V la velocidad de la pala respecto al agua, C el coeficiente de rozamiento, A la superficie de la pala en metros cuadrados, "Ro" la masa específica del agua.

La potencia disipada en los tanques provistos de pantalla dependerá de la pérdida de carga a través del tanque.

$$W = \frac{1000 Q hf}{V} = \frac{1000 hf}{T}$$

en la que W es la potencia en kilogrametros por segundo, por metro cúbico de agua o por unidad de volumen del tanque, Q es el caudal de decantación en m^3/h , V es el volumen del tanque en m^3 , hf es la pérdida de carga en metros a través del tanque, T el tiempo de retención en segundos.

3.4.2 FLOCULACION EN EL CANAL DE MAMPARAS

Un canal de mamparas difiere de un canal abierto no obstruido y, por lo tanto, de una línea de tuberías, en que los gradientes de corte o turbulencia no son meramente funciones de la resistencia por fricción al flujo. Los gradientes de velocidad se intensifican intencionalmente mediante cambios forzados en la dirección del flujo.

Para canales de mamparas de capacidad Q , en los que se incurre en una pérdida de carga h , cuando la velocidad del flujo es v , la potencia necesaria P es $P = v \rho G h$ en donde ρ G es el peso del agua. Cada metro de pérdida de carga representa .03 kW por cada mil m^3 diarios. En la práctica, las pérdidas de carga se encuentran por lo general, entre 15 y 60 cm, las velocidades varían entre 15 a 45 cm/seg., y los tiempos de retención de 10 a 60 minutos.

Para $(n-1)$ mamparas situadas a espacios iguales del tipo de flujo vertical, así como del tipo de flujo horizontal y para velocidades V_1 y V_2 en los canales y en las ranuras de las mamparas, respectivamente, la pérdida de carga se aproxima a $(n)V_1^2/2G + (n-1)V_2^2/2g$. siendo n , el número de mamparas y V , la velocidad del flujo (velocidad media).

3.4.3 CARGA Y COMPORTAMIENTO DE LOS FLOCULADORES

En los dispositivos para floculación existen algunas variables controlables. Para el tanque de floculación, las variables fundamentales son: la velocidad del flujo V y el volumen de la cámara C . En conjunto, estos establecen la carta hidráulica $\frac{V}{C}$ y el período de retención o desplazamiento $t_d = \frac{C}{V}$. Para la disipación de potencia por mezclado o agitación lenta, la alimentación útil de potencia P es, conceptualmente, una función de la eficiencia hidráulica de la mezcla y la agitación lenta, basada sobre los gradientes "G" de corte hidráulico o de velocidad, producidos. Junto con t_d estos establecen la energía transmitida al agua sujeta a tratamiento.

Estas variables unen las cargas operacionales a la carga hidráulica, propia del tanque de floculación.

El comportamiento de los floculadores no está plenamente identificado. Para su funcionamiento las variables controlables son funciones de:

- A) Las sustancias que se van a remover
- B) Los aditivos, si los hay, que se agregan para favorecer la remoción.

3.5 PRECIPITACION

El inicio de la precipitación en el acondicionamiento de aguas surge de los métodos de tratamiento de los líquidos residuales urbanos. La alumina, la cal y el sulfato ferroso, utilizados para la clarificación del agua, se emplearon con éxito, consiguiéndose efluentes mejores que con la sedimentación sola. El auge de la precipitación dentro de los procesos de acondicionamiento, resultó de la combinación de ciertos factores del desarrollo tecnológico que fueron: La disminución del costo de los productos de adición y un más perfecto conocimiento de la formación del coágulo, así como los factores que lo afectan; El desarrollo de los métodos y procedimientos de filtración de los barros, que compensan el inconveniente de su mayor volumen y el perfeccionamiento de las maquinarias colectoras de barro en los tanques de sedimentación. Los procesos de precipitación tienen su mayor aplicación en las aguas provenientes de efluentes industriales con muchos residuos en suspensión y efluentes de aguas de zonas urbanas densamente pobladas. Para mantener bajos los costos es necesario conseguir valores óptimos de los pH requeridos. Los compuestos empleados deberán ser los más económicos. Las sales férricas son bastante baratas. Los ajustes de pH se pueden lograr con ácido o con cal, para conseguir la coagulación y clarificación más eficaces, con la menor producción de barro.

El cloruro férrico, para instalaciones que emplean más de 7 - toneladas semanales y tengan escape ferroviario próximo, debe comprarse en solución, en carro tanque puede ser lo más económico.

Si se necesita menos, debe partirse de compuestos férricos en otra forma, lo que puede exigir el empleo de cloruro férrico ó sulfato férrico en forma granular, como polvo anhidro, o bien sulfa

to ferroso y cloro (caparrosa clorada). El sulfato ferroso sólo, sin el cloro para oxidarlo al estado férrico, no es eficiente; -- tampoco la alumina es eficaz sin cloro. La cantidad de compuestos que han de emplearse, depende de las características de las aguas residuales que han de tratarse y en la calidad que se exija al líquido tratado. Las dosis suelen ser de unos 60 a 140 Kg. de sulfato ferroso por cada 1000 m³ de agua, con ello, se obtienen reducciones de la D.B.O. del 75 al 90%. Experiencias en varias plantas han demostrado casos en que se ha destacado que con la regulación del pH es precisa sólo la mitad de la cantidad de cloruro férrico que se requiere, sino se controla el pH. Lo más práctico recomendable es determinar experimentalmente la dosis necesaria para la clarificación de líquidos residuales; probando con múltiples ensayos. En ocasiones, se han adicionado varios materiales insolubles a los coagulantes, con el fin de incrementar su eficacia y reducir el costo; entre ellos están: la pulpa de papel, la marga, los barros de la propia operación y carbón. Los procesos de precipitado suelen emplear el producto de solubilidad de un compuesto que contiene un ión o radical que es considerado perjudicial y que, en consecuencia, debe ser eliminado antes de que el agua pueda ser usada.

Puede servir de ejemplo la reducción de la concentración de iones de calcio, como carbonato de calcio. La temperatura es un factor importante en las secciones de precipitación. Las características de la solubilidad del precipitado deseado influirán en la selección del equipo de tratamiento. La temperatura afecta la velocidad de todas las reacciones entre compuestos.

Uno de los principales fundamentales de la precipitación es que, aumenta el tamaño del precipitado si la reacción se lleva a cabo en presencia de partículas previamente precipitadas.

En las instalaciones en que se produce la precipitación, deben disponerse los elementos necesarios para la dosificación y mezcla de los productos. Cuando se alimentan soluciones son recomendables los dispositivos de alimentación constante. La alimentación con sulfato férrico puede hacerse en seco, pero como sólo se disuelve lentamente, se necesitará un recipiente con agitador, construido

especialmente para hacer la solución. Los compuestos y el líquido residual han de mezclarse íntimamente, a lo que se sugiere posteriormente una mezcla con agitación lenta durante de 10 a 30 minutos. Para realizar estas operaciones, pueden instalarse sistemas de agitación mecánica rotatoria, evitando el uso de mezclado auxiliado por aire comprimido. Los períodos necesarios para la precipitación, deben ser lo suficientemente prolongados. En diversas instalaciones, se han adaptado períodos entre 1 y 2 horas. Es muy común el empleo de aparatos colectores de barros en los tanques sedimentadores y en algunas instalaciones se han dispuesto filtros de magnetita.

Los barros obtenidos, es igual desecarlos e incinerarlos. -- Con la precipitación, los sólidos en suspensión en aguas residuales, en zonas urbanas, pueden reducirse hasta un 90% y la D.B.O., hasta aproximadamente el 85%.

La aplicación de el proceso de precipitación tiene su mayor aplicación en los siguientes campos:

- 1.- Períodos de bajos caudales en los que se requiere un afluente de alta calidad y no conviene usar otros procedimientos en la planta, debido al poco caudal que llega.
- 2.- Tratamiento rápido de grandes caudales como los que momentáneamente se presentan en ciertas zonas turísticas en las temporadas vacacionales.
- 3.- Cuando no se requiere más que un tratamiento de purificación ligero en el influente.
- 4.- Cuando existen limitaciones en cuanto al espacio disponible y no es admisible que se produzcan olores.
- 5.- Cuando sea necesario auxiliar a una instalación existente que esté sobrecargada. La precipitación puede reducir el volumen de trabajo de los filtros percoladores, si se usa previamente a estos y los cede un fluido que ya lleve un menor grado de contaminantes.
- 6.- Para tratamiento de líquidos residuales industriales que exigen de una clarificación excelente.

3.6 FLUORURACION

3.6.1 CONCEPTOS PRELIMINARES

Se ha observado que los fluoruros del agua potable, producen un cambio en el esmalte de la dentadura, en forma tal que la hacen más resistente a la caries dental. Exceptuando el efecto en los dientes, no se ha descubierto ningún otro cambio de ninguna especie, ya sea benéfico o adverso.

3.6.2 CONCENTRACIONES REQUERIDAS

La mayoría de las aguas no tratadas, contienen fluoruros. Las aguas superficiales de manantiales, ríos, lagos, estanques, canales, riachuelos y cisternas, se ha analizado que poseen por lo general un promedio menor a .3 mg/l de fluoruros.

Las aguas subterráneas, son las que contienen las concentraciones más elevadas de fluoruros.

Los fluoruros se encuentran en aguas de pozos, debido principalmente a la presencia de espato-fluor, fosforita ó criolita. Las aguas subterráneas, al pasar por depósitos de minerales que contienen fluoruros, como los mencionados, disuelven pequeñas cantidades y adquieren una concentración natural de fluoruros, en proporción a la cantidad disuelta.

Los depósitos de fluoruros, pueden encontrarse a grandes distancias de los puntos en donde aparece el agua que los ha disuelto.

El espato de flúor, un mineral que contiene fluorita o fluoruro de calcio, se encuentra generalmente en vetas subterráneas. Algunas aguas de pozo contienen un exceso de fluoruro, aproximadamente 1.5 mg/l y en estos casos, recomendable es, eliminar dicho exceso. La mayoría de los abastecimientos tienen deficiencias de fluoruros y la cantidad requerida puede agregarse fácil y económicamente.

En la mayoría de los casos, los fluoruros naturales que arrastran el agua, varían muy poco; y por esta razón, puede mantenerse fácilmente el nivel óptimo de fluoruros, con un mínimo de equipo y supervisión.

La concentración de 1.0 mg/lit se ha considerado como la óptima luego de hacer estudios y observaciones directas en las dentadu

ras de miles de niños.

Se ha analizado que se puede lograr una mayor protección contra la caries, si los niveles de fluoruros se cambian conforme varía el consumo de agua debido a la temperatura o cualquier otro factor ambiental.

Se ha sugerido que el nivel de fluoruros se disminuya durante los meses más cálidos y se incremente en el invierno. Una relación sugerida en función de las temperaturas es la siguiente:

<u>Grados de Temperatura</u>	<u>MG/lit.</u>
0 a 12.1	1.2
12.2 a 14.6	1.1
14.7 a 17.7	1.0
17.8 a 21.4	.9
21.5 a 26.3	.8
26.4 a 32.5	.7

3.6.3 COMPUESTOS DE FLUOR

3.6.3.1 MINERALES POSEEDORES

Los minerales que contienen fluoruros más abundantes en la naturaleza son: el espato flúor que contiene fluoruro de calcio; la criolita que contiene fluoruros combinados con aluminio y sodio; y la apatita, que generalmente es un compuesto de calcio, fluoruros, carbonatos y sulfatos.

El flúor como elemento químico sin estar combinado con algún otro elemento para formar un compuesto, no existe libre en la naturaleza.

3.6.3.2 ESPATO FLUOR

Este mineral es la principal fuente de los compuestos comerciales de flúor con que se cuenta en la actualidad.

El espato flúor es un mineral que contiene cantidades variables de fluoruro de calcio. El fluoruro de calcio puro, contiene 51.1% de calcio y 48.9% de fluoruro. El espato flúor, tal como se obtiene, puede contener sólo, hasta 30% de fluoruro de calcio; pero,

esta calidad tan reducida no puede utilizarse comercialmente sin una purificación o mejoramiento. Los grados comerciales de espato flúor contienen, por lo general, de 85 a más de 98% de fluoruro de calcio.

El espato flúor puro, es un material lustroso, semejante al vidrio; que casi siempre es traslúcido o transparente.

El mineral tal y como sale de las minas, se conduce a través de un sistema de trituración para reducirlo a tamaños de 1 a 4 cm y luego pasa por un molino de bolas que lo reduce a un polvo con dimensiones del orden de la malla 35 a la 200. En la actualidad, hay dos formas en que se utiliza el espato flúor para la fluoruración del agua: el mineral se disuelve en la planta de tratamiento de agua y se agrega en forma de líquido al agua, ó, proporciona la materia principal en la elaboración de diferentes compuestos que contienen fluoruros, que pueden adquirirse comercialmente y dosificarse, ya sea como líquidos o sólidos, en forma directa, al agua que va a tratarse.

Sin embargo, el primer proceso (la disolución del espato) resulta más económica debido a que este mineral es menos costoso que cualquier otro compuesto de fluoruro de que pueda disponerse. Comparando costos de los iones fluoruro disponibles para fluoruración: silicofluoruro de sodio, 3 veces más cara; silicofluoruro de amonio, 3 y media veces; fluoruro de sodio, seis y media veces; silicofluoruro de magnesio, siete veces; ácido hidroflosilícico, nueve veces más caro.

3.6.3.3 ACIDO FLUORIDRICO

Después de la acidulación del espato flúor, el ácido fluorídrico (HF), puede usarse directamente. El ácido fluorídrico líquido, puede agregarse en forma directa al agua con bombas dosificadoras, sin embargo, debido a la extrema corrosividad, de éste ácido, es muy difícil manejarlo con seguridad y exactitud.

3.6.3.4 FLUORURO DE SODIO

El fluoruro de sodio es el compuesto que más se usa actualmen-

te para la fluoruración de aguas municipales y pertenece al grupo de los compuestos que se forman a partir de ácido fluorhídrico. - Alrededor de 1.8 Kg de fluoruro de sodio forman una solución saturada de 45 Kg de agua. El fluoruro de sodio se escogió por su baja toxicidad, encontrarlo comercialmente en grandes cantidades, y solubilidad alta y constante a una gran variedad de temperaturas.

El fluoruro de sodio es un material blanco, inodoro y de flujo libre, que puede obtenerse ya sea como polvo o en forma de cristales minúsculos. Su peso molecular es 42, su densidad 2.79 y su solubilidad prácticamente constante de 4.9 g por 100 ml de agua.

El fluoruro de sodio produce soluciones con un PH cercano a la neutralidad.

3.6.3.5 ACIDO FLUOSILICICO

El ácido fluosilícico es una solución acuosa de 20 a 30% de H_2SiF_6 cuyo peso molecular es 144.08. Es un líquido incoloro, transparente, humeante y corrosivo, que tiene un olor picante y -- que irrita la piel al contacto. Su dilución requiere de una medición muy exacta.

3.6.3.6 SILICOFLUORURO DE SODIO

El ácido fluosilícico, es la materia prima básica que se utiliza en la elaboración de las sales de silicofluoruro. Se emplean -- los silicofluoruros de sodio, magnesio y amonio, para la fluoruración del agua; de entre las cuales el sodio es el de mayor demanda.

El silicofluoruro de sodio es la fuente de ion fluoruro más barata, excepción hecha del espatofluor. Aunque la solubilidad constituye un problema, puede resolverse seleccionando el aparato apropiado de disolución.

A este compuesto se le conoce también como fluosilicato de sodio y es un polvo cristalino, fluido, no higroscópico, de color blanco, e inodoro, con un peso específico de 2.68 Kg/dm^3 y pH de - 3.5 a 4.; y en solución es corrosivo.

3.6.3.7 SILICOFLUORURO DE AMONIO

Se vende como cristalino, fluido, blanco e inodoro, que contiene

pocas partículas capaces de producir polvo.

El empleo de este material es muy conveniente en los casos en que se usa el amonio para formar cloraminas, cuando se agrega cloro al agua con fines de desinfección.

3.6.3.8 COSTOS DE LOS COMPUESTOS

Basándose en el costo del ión fluoruro disponible, el espato flúor es la fuente más barata. Se cree que siempre que se usan coagulantes para el tratamiento de agua, pueda encontrarse medios para utilizar este material para la fluoruración. Cuando no se puede utilizar el espato flúor, debe pensarse después en el silicofluoruro de sodio. A continuación, por orden de costo, debe tomarse en cuenta el silicofluoruro de amonio, el de magnesio, el fluoruro de sodio y el ácido fluosilícico.

3.6.4 DEFLUORURACION

La fluorosis, que son los trastornos provocados por el exceso de flúor en la alimentación, está relacionada fundamentalmente a la concentración de fluoruro en el agua consumida durante el período de calcificación de la dentadura permanente. Los niños que han estado expuestos continuamente al consumo de agua con un contenido muy alto de fluoruro, se ha observado que han sufrido de esmalte moteado en la dentadura permanente y muchos de ellos tienen graves defectos de calcificación que debilitan el esmalte y producen la pérdida eventual de los dientes por desgaste.

Hoy día se cuenta con 3 métodos de defluoruración que pueden ponerse en práctica bajo diferentes condiciones de calidad del agua cruda y disponibilidad de compuestos para su tratamiento. Estos involucran el uso de alúmina activada, carbón animal o compuestos de magnesio. Los dos primeros métodos emplean medios insolubles y granulados que eliminan los fluoruros conforme el agua se infiltra a través de ellos. El medio filtrante se regenera periódicamente mediante un tratamiento, cuando se satura con el fluoruro eliminado del agua. En el tercer método, los fluoruros se suprimen junto con el magnesio que puede agregarse en la forma de cal. Tanto los fluoruros como el magnesio, se eliminan subsecuentemente, mediante el

uso de tanques de sedimentación y se desechan después. Los problemas relacionados con la operación, control y mantenimiento de las plantas de defluoruración, no son más difíciles que los que se encuentran en las plantas convencionales de tratamiento de agua.

El equipo requerido para estas plantas es un conjunto de aparatos comunes de las plantas de tratamiento de agua y su costo y complejidad son idénticos a los de las plantas de ablandamiento o intercambio iónico. Los costos de la fluoruración son similares a los de ablandamiento, eliminación de hierro, decoloración, clarificación o cualquier combinación de estos procesos.

La eliminación del exceso de fluoruro de los abastecimientos de agua de una comunidad, para evitar la desfiguración de los dientes, pérdida de las piezas dentarias e incremento del costo del cuidado dental, constituye una adecuada medida de salud pública.

3.7 CLORACION

3.7.1 "OBJETIVOS DE LA CLORACION"

El objetivo fundamental de la aplicación de cloro, es el dar muerte a todos los organismos que puedan provocar enfermedades.

De modo secundario, controla la proliferación de algas, evita la aparición de hongos, evita cualquier tipo de crecimiento orgánico en el interior de las conducciones; particularmente los crecimientos de bacterias productoras de babaza; ayuda a la coagulación cuando es aplicado en precloración y controla o neutraliza olores y sabores del agua.

3.7.2 "TEORIA DE LA CLORACION"

La cloración es la adición controlada de cloro en las aguas. El cloro, a causa de su estructura atómica, posee una gran estabilidad, los átomos tienen una fuerte tendencia de adquirir un electrón extra para completar una capa de 8. La tendencia se manifiesta como oxidante.

Cuando se añade cloro o sus compuestos al agua, se desprenden las siguientes sustancias:

- a) Acido hipocloroso (HOCl), ión hipoclorito (OCl^-) y cloro elemental (Cl_2). La distribución de las 3 especies dependen

del pH. El cloro elemental procedente del cloro gaseoso, solo perdura durante un momento pasajero dentro de la zona del pH normal. El ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl^-), son conocidos en la práctica como "CLORO LIBRE DISPONIBLE".

b) Monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHC_2), y tricloruro de nitrógeno. El amoníaco o el nitrógeno orgánico, son esencial para la producción de estos compuestos. La distribución de estos compuestos está en función del pH.

El tricloruro de nitrógeno no se forma en cantidades significativas dentro de la zona normal de pH, salvo en circunstancias especiales. A la monocloramina (NH_2Cl) y a la Dicloramina (NHC_2). Se les llama en la practica "CLORO DISPONIBLE COMBINADO".

c) Cloraminas orgánicas complejas que se generan en la cloración de aguas negras.

La demanda de cloro de un agua, está en función de la cantidad de sustancias reductoras presentes. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias presentes en el agua, el átomo de cloro, al ganar electrones sufre un cambio a ión cloruro ó un cloruro orgánico. Las sustancias reductoras pueden incluir Fe^{++} , Mn^{++} , NO_2^- y H_2S inorgánicos, junto con material orgánico viviente o muerto.

Las sustancias inorgánicas reaccionan en forma rápida a diferencia del material orgánico que tiene una respuesta lenta.

3.7.3 CANTIDAD DE CLORO

Las aguas poseen una cantidad de cloro que debe saturarlas antes de que el cloro sea efectivo como un agente desinfectante. La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro agregada al agua y la cantidad remanente al final de un período de contacto específico. Esta demanda de cloro puede deberse al contenido orgánico o al contenido de ciertos elementos tales como hierro, magnesio, nitratos o sulfuros de hidrógeno. La mayoría de estas sustancias reaccionan rápidamente con el cloro. Por lo tanto el residuo de cloro medido después de un período breve se toma como el índice

de la cantidad necesaria de cloro que debe aplicarse.

La concentración del cloro en el agua se mide con la prueba de ortolidina-arsenito (POA). Esta prueba muestra el residuo del cloro libre disponible y combinado.

También distingue por los colores producidos, la naturaleza de las substancias que interfieren, tales como los compuestos férricos, nítricos y de magnesio.

Cuando se aplica cloro en el agua en cantidades suficientes, - las primeras reacciones causan la destrucción de los compuestos reductores de cloro, y no existe una acción desinfectante lenta. Al agregarse aún más cloro, estos compuestos se destruyen.

Finalmente, se tiene cloro libre disponible en cierta relación con el exceso de cloro agregado. Este cloro libre tiene una rápida acción desinfectante. Una desinfección efectiva necesita residuo de cloro libre de .2 mg/lt. bajo las condiciones más favorables y residuos hasta de .4 a .8 mg/LT bajo otras condiciones. Para un agua que tenga un valor del PH no mayor que 7.0, se debe mantener un residuo libre de .2 mg/lt después de 10 minutos o un residuo de 1.8 mg/lt, después de 60 minutos. Para agua con un ph de 9, el residuo de cloro libre debe ser de .8 mg/lt. Para que un residuo combinado sea efectivo, el pH debe reducirse abajo de 9.0. El virus de hepatitis en agua clara se inactiva con 1.1 mg/lt de residuos combinados ó .4 mg/lt de residuos libres. El virus de la poliomielitis, se destruye con una cantidad muy pequeña de residuos .1 - - mg/lt con un pH de 7.0. Los organismos de la tuberculosis se destruyen con residuos de unos 3 mg/lt con 30 minutos de contacto.

"TIPO DE AGUAS"

CANTIDADES
RECOMENDABLES
mg/l

AGUAS NEGRAS	6 - 24
AGUAS NEGRAS SEDIMENTADAS	3 - 18
AGUAS NEGRAS PRECIPITADAS QUIMICAMENTE	3 - 12
EFLUENTE DE FILTROS	3 - 9
EFLUENTE DE LODOS ACTIVADOS	3 - 9
EFLUENTE DE FILTROS INTERMITENTES DE ARENA	1 - 6

3.7.4 EFICIENCIA DE LA CLORACION

Los factores principales que afectan la eficacia de la cloración de agua, incluyen:

- 1) La cantidad y tipo de cloro presente
- 2) La relación entre las formas de cloro en el agua después de la cloración.
- 3) La presencia y volumen de la demanda de cloro
- 4) El tiempo de contacto entre el cloro y el agua.
- 5) La temperatura
- 6) La acidez ó alcalinidad del agua.

3.7.4.1 TIEMPO Y CONCENTRACION

Estos dos factores deben considerarse como mutuamente ligados, pues, por medio de ambos se toma en consideración la duración del período de reacción disponible para la desinfección, así como la cantidad y clase de cloro residual. El cloro combinado es un desinfectante débil por lo cual para que logre su efecto, debe proporcionarse una concentración grande durante un tiempo largo. Por otro lado si se va a mantener cloro residual libre, el cual es un desinfectante activo, el período de reacción puede ser proporcionalmente menor. Un cloro residual libre de .05 mg/lit con un período de reacción de 10 minutos a un pH de 7.0 matará las bacterias igual que un cloro residual combinado de .6 mg/lit con un período de reacción de 60 minutos. Cuando el tiempo de reacción de que se disponga desde el momento de la aplicación hasta el momento en que se consuma el agua, sea corto, digamos de unos 5 minutos, un cloro residual libre disponible de 0.5 proporcionará una desinfección eficaz siendo la opción usar un cloro residual combinado de 1.8 a 2.0 mg/lit.

3.7.4.2 TEMPERATURA

La temperatura del agua afecta sensiblemente la acción bactericida del cloro residual. Para lograr la misma acción bactericida con una temperatura de 4.5° C., en comparación con la temperatura de 21° C., siendo iguales todos los demás factores, la concentración del cloro residual combinado debe ser más del doble de la

concentración del cloro residual libre.

3.7.4.3 pH

El pH del agua afecta la acción desinfectante del cloro, particularmente la del cloro residual combinado. A un pH de 6.5 g, a una temperatura de 21° C. 3 mg/lit de cloro residual combinado causan un efecto letal de 100% en las bacterias. A la misma temperatura y un pH de 7 el cloro residual combinado debe aumentar hasta 6 mg/lit y a un pH de 8.5 debe aumentarse aún más, hasta 1.2 mg/lit para lograr el mismo efecto.

3.7.5 HIPOCLORACION

3.7.5.1 TEORIA DE LA HIPOCLORACION

Otros compuestos de cloro como el hipoclorito de sodio o de calcio se utilizan para clorar agua en instalaciones pequeñas y para esterilizar las líneas de agua principales, pues al igual que el cloro gaseoso poseen propiedades desinfectantes. Estos hipocloritos se agregan usualmente en forma de solución al agua que se va a clorar, aunque se han desinfectado pozos, tanques, cisternas, líneas de tubería, etc., agregando directamente al agua la cantidad de polvo deseada. La fórmula del hipoclorito de calcio es $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, y la del hipoclorito de sodio es: Na OCl . El cloro disponible varía de 25 a 30% para cloruro de cal y hasta de 70% para los hipocloritos llamados de alta prueba. Al hipoclorito de calcio se le conoce también como Cloruro de Cal. El cloruro de cal no es estable y pierde intensidad durante el almacenamiento o el contacto con el aire. Por lo general el producto químico disponible en el comercio contiene de 25 a 37% de cloro disponible en peso, consistiendo el resto de material en carga inerte. Existen algunos productos disponibles, tales como el PERCLORON, que contiene de 65 a 75% de cloro en peso, estos productos son estables, pero su costo es mayor.

El término cloro disponible se utiliza para representar la potencia de oxidación total de un hipoclorito. Es igual al valor del OCl^- del compuesto, o 2 veces el peso del cloro presente como OCl^- en el compuesto.

Un átomo de cloro desplazará un átomo de yodo en una solución de potasio-yodo, pero una molécula de hipoclorito de calcio que tiene 2 átomos de cloro desplazará cuatro átomos de yodo del yoduro de potasio.

Un hipoclorito no tiene un contenido de cloro real indicado - por el % de cloro disponible mencionado anteriormente. Sin embargo debido a la capacidad de la molécula de hipoclorito de calcio - con dos átomos de cloro para desplazar dos veces más yoduro de potasio de lo que desplazarían dos átomos de cloro líquido, la capacidad de cloración real del orden de 25 a 30% para cloruro de cal y 70% para hipoclorito de alta prueba.

3.7.5.2 APLICACION DE HIPOCLORITO

Los hipocloritos se aplican al agua como solución mediante un aparato alimentador de hipocloritos. Este puede consistir en un orificio alimentador de carga constante o de una bomba pequeña.

Se obtiene generalmente resultados satisfactorios con una solución al 1% por peso de cloro, pero pueden ser deseables soluciones más débiles para flujos relativamente pequeños. Las soluciones con intensidades mayores a 2 ó 3%, por lo general, no son deseables cuando se utiliza hipoclorito de calcio, pero se pueden utilizar soluciones más fuertes de hipoclorito de sodio.

Se recomienda para plantas que cloran a partir de hipocloritos, adoptar una intensidad normalizada de solución y utilizar esa solución invariablemente.

3.7.6 CLORADORES

La cloración mediante cloro gaseoso se hace a partir de cilindros que vienen llenos de cloro líquido. Los cloradores consisten en diversas combinaciones de válvulas de reducción de presión que funcionan por medio de diafragmas mecánicos o flotadores operados hidráulicamente, y también de finos orificios. La presión se reduce hasta llegar a una que sea baja y uniforme, posteriormente se hace una solución acuosa y se inyecta esta solución al agua que se va a tratar. Cuando no se dispone de electricidad o de agua a presión se usan cloradores de inyección directa. Estos son similares

a los de alimentación de solución, con la diferencia de que no hay dispositivo para hacer e inyectar una solución acuosa. El gas se conduce por tuberías directamente hasta el agua que va a tratarse, en el punto de aplicación se usan difusores de plata o de carbundo conectados al extremo de la tubería.

Los equipos de inyección directa, pueden presentar dificultades cuando operan a bajas temperaturas al poder formarse en los difusores cristales de cloro que los obstruyen. En zonas donde se opte por la inyección directa, y existan temperaturas bajas se recomienda el empleo de difusores calentados.

La temperatura del lugar donde se coloquen los cilindros no debe ser menor de 10° C, pues de otro modo no se vaporizará el cloro y la cantidad de cloro gaseoso que se puede extraer de los cilindro es limitada en lugares fríos. También las básculas y los cilindros conviene localizarlos en un lugar ligeramente más frío que los cloradores, para que el cloro gaseoso que pasa de los cilindros al clorador no se condense en éste. El cloro se vende en cilindros de acero con 68 Kg de cloro licuado a presión, y de cada cilindro puede extraerse unos 20 Kgs diarios.

3.8 "DUREZA Y ABLANDAMIENTO"

3.8.1 CONCEPTOS GENERALES

La dureza de las aguas es una de sus características importantes. En las industrias el grado de dureza constituye la base - - principal para clasificar las aguas que se reciben. De acuerdo - con el método de ASTM D 1129, "Definiciones de Términos Relacionados con El Agua Industrial y El Agua Industrial de Desecho", la dureza del agua es una característica que se expresa como la concentración total de calcio y magnesio. Aunque otros constituyentes tales como el hierro, el manganeso y otros cationes polivalentes también contribuyan a la dureza, casi siempre tienen concentraciones tan pequeñas que en realidad no afectan la dureza del agua industrial.

Por lo tanto, en esta tesis el término dureza sólo se refiere al calcio y al magnesio.

La dureza se puede dividir en 2 tipos:

La de carbonatos y la de no carbonatos. La de carbonatos es aquella parte de la dureza del agua que se debe a los carbonatos y los bicarbonatos que tenga. El resto de la dureza se denomina la de no carbonatos. La de carbonatos rara vez impide utilizar el agua para la industria, ya que en caso de ser excesiva, se puede reducir o eliminar de un modo sencillo y poco costoso. Por otro lado, la dureza de no carbonatos, sobre todo cuando el anión predominante es el sulfato, puede dar como resultado la formación de escamas duras en las calderas y otras partes del equipo de intercambio de calor. Este tipo de dureza es más difícil y costosa de eliminar.

Cualquier clasificación descriptiva o numérica de la dureza del agua, es arbitraria.

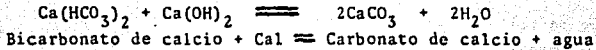
Es muy probable que un agua se clasifique como dura en una zona y que se le considere suave en otra. Una clasificación típica es la siguiente:

RANGO DE DUREZA mg/litro (ppm)	Clasificación Descriptiva
1 a 60	SUAVE
61 a 120	MODERADAMENTE DURA
121 a 180	DURA
SUPERIOR a 180	MUY DURA

3.8.2 PROCESO CAL SOSA

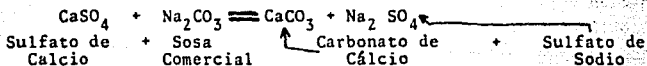
3.8.2 REACCIONES INTERMOLECULARES

Cuando se agrega cal Ca(OH)_2 a una agua dura reacciona con el bicarbonato de calcio, $\text{Ca(HCO}_3)_2$, bicarbonato de magnesio, $\text{Mg(HCO}_3)_2$, sulfato de magnesio Mg(OH)_2 ; y cloruro de magnesio MgCl_2 ; para formar los compuestos insolubles; carbonato de calcio CaCO_3 ; e hidróxido de magnesio Mg(OH)_2 ; y los compuestos solubles: sulfato de calcio CaSO_4 ; y cloruro de calcio CaCl_2 . La reacción entre la cal y el bicarbonato de calcio es:



La sosa comercial, Na_2CO_3 , se agrega para reaccionar con el sulfato de calcio y el cloruro de calcio para formar carbonato de calcio insoluble, CaCO_3 , y sulfato de sodio soluble Na_2SO_4 , y cloruro de sodio NaCl .

La reacción entre la sosa comercial y el sulfato de calcio es:



El sulfato de sodio y el cloruro de sodio no son objetables en las cantidades que se obtengan generalmente en los procesos de suavización y ablandamiento.

3.8.2.2 CARACTERISTICAS DEL PROCESO

El procedimiento de suavización mediante Cal-sosa, es en esencia similar al utilizado para la coagulación y la filtración de arena de acción rápida. La cal y la sosa se agregan al agua cruda, ya sea separadamente o juntas, y se mezclan bien con el agua. A esto sigue la floculación, sedimentación y filtración. Para obtener buenos resultados, los tiempos permitidos para el mezclado y la sedimentación deben ser algo mayores que para los procesos de coagulación e involucrados en la clarificación de aguas turbias, siendo ventajoso el empleo de equipo mecánico.

La mayoría de los compuestos insolubles que se forman por la adición de cal, sedimentarán, eliminándose del agua.

La dureza de carbonatos teóricamente se pueden reducir hasta unos 17 mg/lt mediante el tratamiento con cal. Sin embargo si se forman compuestos de magnesio solubles, éste límite teórico se incrementará notablemente. El tratamiento para eliminar los compuestos de magnesio solubles, consiste en agregar un exceso de cal de 35 a 60 mg/lt, para precipitar el magnesio y convertir la causticidad en hidróxidos. Se necesitará sosa para combinarse con la dureza de los no carbonatos y con el exceso de cal. Este último trata

miento tiene la objeción de que produce una agua que debe carbonatarse para eliminar la alcalinidad cáustica.

3.8.2.3. RESULTADO DEL PROCESO

Quando se suaviza agua mediante el proceso cal-sosa, el contenido total de minerales disueltos en el agua, se reduce mediante la eliminación de las sustancias que causan la dureza.

También se elimina el bióxido de carbono libre. No se tiene alcalinidad de bicarbonatos residual, la alcalinidad, total disminuye y el pH aumenta. Sin embargo, el gran volumen de los dos producidos por el ablandamiento mediante cal-sosa presenta un problema. Una pequeña porción de los lodos puede regresarse ventajosamente al tanque de mezclado donde mejora las reacciones de los productos químicos con el agua.

El resto debe eliminarse. Al descargarse a una corriente, a menos que el flujo sea lo suficientemente grande, se produce contaminación. En una ciudad grande, puede ser factible deshidratar los lodos y reutilizar la cal, pero este proceso es demasiado costoso para una ciudad pequeña. Otros métodos empleados incluyen la gúnas y ocasionalmente se utilizan para fines agrícolas.

3.8.3 CANTIDADES NECESARIAS DE CAL Y SOSA

La cantidad de cal necesaria para suavizar el agua está determinada por las cantidades de bióxido de carbono libre y a medio liberar, así como de magnesio que están presentes. El CO_2 a medio liberar, es hasta el 44% de la alcalinidad de bicarbonatos. Sobre la base de los pesos moleculares de las sustancias la cantidad de CaO puro necesaria para reaccionar con mg/lit de CO_2 libre y a medio liberar es 4.88 Kg. por 3.785 millones de litros de agua, y la cantidad de CaO puro necesaria para precipitar mg/lit de magnesio es de 8.73 Kg. por cada 3.785 millones de litros de agua. Por ejemplo la relación de los pesos moleculares de CO_2 CaO es 44.01:56.08 ó 1:1.27, y por cada mg/lit de CO_2 presente se necesitarán 1.27 - - mg/lit de CaO . Como 1 litro de agua pesa 1 Kg. el peso de la cal necesaria para 1000 M^3 de agua es $1.27 \times 1000 \text{ M}^3 \times \frac{0.001 \text{ Kg}}{1} = 1.27 \text{ Kg}$.

Si se utiliza cal hidratada, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o Cal impura, se necesita rá un peso mayor. Como el peso molecular del CaO es $40.08 + 16.00 = 56.08$ y el peso molecular del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es $40.08 + 32.00 + 2.02 = 74.1$ luego 74.1 Kg. de cal hidratada es equivalente a 56Kg. de CaO . Si se necesitan 100 Kg de CaO , el peso necesario de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es $74.1/56.08 = 132$ Kg.

De acuerdo con los pesos moleculares la cantidad de sosa nesaria para eliminar 1mg/lit de dureza de no carbonatos de 1000 metros cúbicos de agua es 1 Kg. Como la costumbre es eliminar únicamente una parte de la dureza de no carbonatos, solo el peso de la porción que se va a eliminar se multiplica por 1 Kg. para determinar la cantidad necesaria de sosa comercial en Kg.

Los resultados teóricos proporcionan un excelente punto de -partida, pero diferentes condiciones pueden modificar estos valores.

Por lo tanto, para determinar la cantidad que producirá mejores resultados con una agua particular, es deseable probar las dosis calculadas y también dosis algo mayores y menores.

3.8.4 RECARBONATACION

3.8.4.1 TEORIA DE LA RECARBONATACION

La alcalinidad cáustica en el agua suavizada mediante el mé-todo de exceso de cal puede eliminarse por la aplicación de bioxido de carbono en el agua. La recarbonatación estabiliza el contenido de Ca CO_3 y reduce la tendencia de los carbonatos coloidales de calcio o hidróxidos de magnesio a precipitarse sobre el filtro de arena y los tubos del sistema de distribución.

Se puede producir CO_2 quemando coque o mediante cualquier -otro sistema, o se puede comprar en cilindros. El equipo espe-cial para la recarbonatación incluye un producto de gas, un lim-piador, un colector de humedad, un secador, un compresor y un di-fusor.

El gas comprimido se aplica a baja presión al agua mediante una parrilla de tubos perforados con agujeros de 3/32 a 1/8 de pulgada de diámetro y separados unos 15 cm., o mediante difuso-

res comerciales. Es suficiente un período de contacto corto entre el bióxido de carbono y el agua.

Un tanque con una altura de unos 3 mts. y un período de desplazamiento de 15 a 30 min. será satisfactorio.

3.8.4.2. CANTIDAD DE BIOXIDO DE CARBONO

La reacción mediante la cual el carbonato de calcio y el bióxido de carbono forman bicarbonato de calcio se puede escribir de la manera siguiente: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{CO}_2$

CARBONATO		BIOXIDO				BICARBONATO
DE	+	DE	+	AGUA	=	DE CALCIO.
CALCIO		CARBONO				

Se necesita una cantidad definida de CO_2 para reaccionar con una cantidad dada de CaCO_3 la relación del peso de CO_2 al peso de CaCO_3 es 44:100.

Por lo tanto, 1mg/lt de CaCO_3 necesita .44 mg/lt de CO_2 . Como 1 litro de agua pesa 1 Kg. el peso de CO_2 necesario para reaccionar con 1 mg/lt de CaCO_3 es $.44 \times 1 = .44$ Kg. por 1000 m^3 de agua. Por lo general se agrega un 25% adicional para considerar las pérdidas en la secadora o lavadora.

Así generalmente el peso que se proporciona para 1 mg/lt de CaCO_3 es $.44 \times 1.25 = .55$ Kg. por 1000 m^3 , de agua.

El gas de un quemador de coque bien diseñado contiene entre 10 y 19% de CO_2 .

4.1. EVAPORACION

4.1.1 TEORÍA DE LA EVAPORACION

El equipo de destilación o evaporadores, han sido empleados durante muchos años en servicio marino para suministrar agua pura de repuesto al equipo de regeneración de vapor y para agua potable. Los evaporadores se utilizaron sólo hasta un grado limitado en plantas estacionarias de vapor hasta alrededor de 1920. Desde entonces, la tendencia hacia mayores capacidades unitarias y calderas más grandes, ha conducido a la adopción de evaporadores para preparar agua de alta calidad para la alimentación de las calderas. Existen muchos tipos de evaporadores y su selección depende de varios factores. Estos incluyen la facilidad de operación, control de la formación de incrustación, accesibilidad para limpiezas y pureza del vapor. Debe darse y considerarse el espacio para cada instalación, antes de poder hacer una evaluación y selección inteligente del equipo más propio.

La vaporización es el cambio de un líquido al estado de vapor. Esto puede llevarse a cabo de dos modos:

- 1) Ebullición.- En la cual la vaporización tiene lugar dentro del líquido y pasa a través de este, desprendiéndose en la superficie.
- 2) Evaporación o vaporización que tiene lugar únicamente en las superficies libres.

La teoría generalmente aceptada sobre la evaporación supone que, sobre 0 °K, todas las moléculas de una substancia se encuentran en un estado de constante movimiento y que las moléculas individuales chocan entre sí constantemente. A causa de esta acción, algunas moléculas alcanzan velocidades relativamente mayores que la velocidad media de las moléculas en la masa total. Cuando esta acción tiene lugar en una superficie libre, la velocidad de algunas moléculas llega a ser tan violenta que éstas son arrojadas al espacio que se encuentra sobre la substancia y se encuentran entonces como vapor. Las moléculas en fases de vapor ocupan los espacios existentes entre las moléculas de aire y otros gases.

Similarmente, hay moléculas en este estado que retornan con-

tinuamente al estado líquido y, en el equilibrio, la relación de transferencia a través de la superficie del líquido es igual en ambas direcciones. Para efectuar evaporación:

- 1) Debe suministrarse al líquido al calor necesario
- 2) Debe removerse continuamente el vapor desprendido de la superficie del líquido para evitar su acumulación.

Como la evaporación requiere que se transfiera calor al líquido, se infiere que:

- 1) La evaporación depende de la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el líquido evaporado.
- 2) La evaporación depende del área de la superficie expuesta disponible para la transferencia de calor.
- 3) La evaporación depende del coeficiente de transmisión, el cual está afectado por la viscosidad de la solución, la relación del flujo del fluido, los gases no condensados presentes, y la limpieza de la superficie.

La operación y diseño de todos los evaporadores está basado en el control de estos factores fundamentales.

4.1.2 FUNCIONAMIENTO INTERIOR DE LOS EVAPORADORES

Un sistema de evaporación consiste de dos partes esenciales:

- 1) La cámara de destilación o evaporador, donde el agua es calentada y convertida en vapor.
- 2) El condensador, en el cual el vapor es convertido en líquido.

La fuente de calor empleada para vaporizar el agua en las plantas generadoras de vapor, es vapor de alta o de baja presión, el que a su paso por los serpentines de calentamiento, se condensa, cediendo su calor latente al agua cruda que va a ser evaporada. Así, en un evaporador existen dos fuentes de agua destilada. Una es el condensado del vapor que se ha empleado en calentar el agua y la otra es la proveniente del agua evaporada. La cantidad de sólidos presentes en el destilado está influida por el gasto al que se opera el equipo, el ~~diseño~~ diseño del evaporador, el equipo instalado de purificación de vapor y los sólidos presentes en el agua de -

alimentación.

4.1.3 TIPOS DE EVAPORADORES

Existen en el mercado varios tipos de evaporadores, estos -- pueden clasificarse como:

- 1) De tubos sumergidos
- 2) De película
- 3) Instantáneo o flash
- 4) De destilación por compresión

Asimismo, también se les puede designar como: de simple, do- ble ó multiple efecto.

4.1.3.1 EVAPORADOR DE TUBOS SUMERGIDOS.

Consiste en un casco de hierro colado ó acero que sirve como recipiente. El agua se calienta con vapor que pasa a través de serpentines sumergidos. El equipo puede ser diseñado para operar, ya sea como una unidad de tubos sumergidos ó como una de tipo pe- lícula.

4.1.3.2. EVAPORADOR DE PELICULA

Son aquellos en los que el agua cruda se hace pasar en forma de película sobre una serie de serpentines calentados por vapor.

Estos a su vez se encuentran dentro de cascos de hierro ó de acero. El agua se evapora rápidamente (flash) al pasar en forma de película sobre la superficie de los serpen- tines calentados con vapor y subsecuentemente se convierte a la fase líquida en un condensador adecuado.

4.1.3.3. EVAPORADOR INSTANTANEO

Este tipo opera generalmente bajo presión reducida, utilizan do vapor de escape como fuente de calor. El evaporador consiste de un calentador tubular en el cual el agua de repuesto se ca- lienta a una temperatura suficientemente alta, para que ésta se convierta en vapor rápidamente a su entrada a la cámara de evapo- ración, la que se mantiene bajo un vacío parcial. El vapor proce-

dente de la cámara se condensa en el condensador principal o en un condensador separado.

4.1.3.4. EVAPORADOR DE MULTIPLE EFECTO

Es un evaporador que consiste solamente de una cámara de calentamiento, se denomina evaporador de simple efecto. Por razones de economía, puede ser deseable colocar varias unidades en serie, y cuando esto se hace, los evaporadores reciben el nombre de evaporadores de efecto múltiple. Cuando se emplea esta distribución, el vapor de un efecto se utiliza para calentar y evaporar el agua del efecto siguiente en la serie; los serpentines de vapor de cada efecto sirven como condensadores del efecto previo. Utilizando en esta forma el vapor de cada efecto subsecuente, la eficiencia del aparato se aumenta con respecto a la cantidad de vapor primario requerido para evaporar una cantidad dada de agua.

4.1.4 ELECCION DE EVAPORADORES

El costo de operación de los evaporadores depende principalmente de la fuente de calor utilizada, la selección del tipo deberá estar regida por las condiciones existentes en relación con el balance térmico particular de la estación de vapor.

Generalmente son dos las condiciones específicas que controlan:

1. Los medios disponibles para utilizar el calor latente del vapor descargado del evaporador;
2. La posibilidad de utilización de vapor que ha producido una cierta cantidad de trabajo útil, antes de ser descargado al interior de los serpentines del evaporador.

Al considerar plantas industriales pequeñas y medianas con balances térmicos simples, los evaporadores pueden ser instalados para operar al vacío. En sistemas tanto de alto, como de bajo nivel térmico, la diferencia entre estos sistemas estriba en el nivel al que trabaja el evaporador. Esto se define por la presión a la que se alimenta el vapor a los evaporadores y la temperatura

correspondiente a la que se genera y condensa el vapor de los evaporadores.

En un típico sistema al vacío, el suministro de agua cruda para repuesto se descarga directamente al evaporador, el cual recibe vapor a baja presión o al vacío. El vapor generado en el evaporador, se encuentra a menor presión que la atmosférica. En un sistema a bajo nivel térmico, el agua cruda de alimentación al evaporador puede ser calentada por algún tipo de calefacción.

En un sistema de alto nivel térmico, el agua de alimentación se precalienta y el evaporador recibe calor por medio de vapor a alta presión.

La consideración preliminar en el diseño de la instalación de un evaporador, estriba en eliminar hasta donde sea posible, las pérdidas de calor debidas a la operación de la unidad.

4.1.5 OPERACION DE EVAPORADORES

Como regla, se forma una mayor cantidad de lodos en evaporadores de baja presión que en unidades de alta presión cuando se emplea agua cruda sin tratar.

Los sólidos, particularmente los carbonatos de cal, depositarán lodo antes de tener oportunidad de endurecerse sobre las superficies calientes. La incrustación que se forma sobre los tubos de los evaporadores a alta presión, es usualmente dura y pesada y se adhiere tenazmente a las superficies metálicas.

La remoción se efectúa por cambios bruscos de la temperatura del metal de los serpentines. Estos produce un estrellamiento de la incrustación por la expansión y contracción de los tubos.

Cuando el nivel de agua fluctúa en un evaporador y los serpentines se encuentran alternativamente bajo el nivel del agua y posteriormente expuestos a los vapores calientes del tanque, la incrustación que se forma sobre estos serpentines es sumamente dura.

El agua que contiene sales de sodio, junto con aguas negras residuos industriales, presenta mayores probabilidades de causar arrastres a una concentración dada de sólido, que el agua que contiene la misma cantidad de sólidos en ausencia de estos constituyen

tes. La corrosión de los tubos del evaporador llega a ser una dificultad y el acondicionamiento de algunas aguas para evitarla, es laborioso. En aguas superficiales y en muchas provenientes de pozos, el agua cruda contiene oxígeno disuelto al cual resulta agresivo hacia los materiales ferrosos. El agua alta en dureza de carbonatos, puede causar una corrosión relativamente rápida debido al desprendimiento de cantidades apreciables de ácido carbónico al ser calentada. El bióxido de carbono generado, puede ser arrastrado con el vapor al ciclo del agua para alimentación, causando corrosión al evaporador. También puede ocurrir corrosión a causa de la contaminación del agua de entrada con agua de drenaje con ácidos minerales y orgánicos o cloruro de magnesio. Cuando existe este problema, es deseable un pretratamiento del agua para alimentación.

4.2 DESAERACION

Ciertos gases, principalmente, O_2 , y el CO_2 , disueltos en agua, aceleran sus propiedades corrosivas. La velocidad de corrosión se encuentra aproximadamente en proporción a la cantidad de gas disuelto. Adicionalmente, las temperaturas altas aceleran la velocidad de ataque. Estas velocidades son influidas también por los cambios en el pH del agua, el cual puede ayudar en la formación de películas protectoras sobre las superficies metálicas, o destruir dichas películas, exponiendo, por lo tanto, la superficie a un ataque corrosivo.

4.2.1. TEORIA DE LA DEGASIFICACION

El agua disuelve oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, y otros gases de la atmósfera directamente, hasta el punto de saturación a una presión y temperatura específicas. La solución de aire en agua ocurre de acuerdo con la solubilidad de un gas en un líquido, que es proporcional a la presión parcial del gas e inversamente proporcional a la temperatura. Cada gas o vapor en una mezcla, ejerce su presión específica y no está influido por las presiones ejercidas por otros gases. La cantidad de aire disuelto en el agua, está influida por otros constituyentes de esta, en ese momento, el agua destilada absorbe más oxígeno a una temperatura y

presión específicas de lo que lo hace el agua conteniendo materiales disueltos. El agua dura absorbe menos oxígeno que el agua --blanda. Similarmente, el agua de mar disuelve una cantidad menor de oxígeno a una presión y temperatura dadas, que el agua dulce bajo las mismas condiciones.

La velocidad a la que los gases se disuelven en el agua está gobernada por el área de agua expuesta a un gas específico. Mientras mayor sea el área expuesta de agua en contacto con el oxígeno, mayor será la absorción de un período dado; y la velocidad --también es alterada por la temperatura, agitación y otras condiciones.

El problema de remover bióxido de carbono del agua, es similar al de remover oxígeno, pero es considerablemente más complejo y difícil. El bióxido de carbono puede existir en varias formas en el agua; como ácido carbónico H_2CO_3 , y como carbonatos normales, CO_3 . El ácido carbónico es descompuesto rápidamente a bióxido de carbono y agua.

$H_2CO_3 = H_2O + CO_2$. En esta forma puede ser fácilmente expulsado al aumentar la temperatura del agua. Los carbonatos y bicarbonatos, no son rápidamente removidos por el calor.

El amoníaco gaseoso NH_3 , se disuelve rápidamente en agua formando NH_4OH ($NH_3 + H_2O$), un compuesto mucho más soluble que el bióxido de carbono o el oxígeno. El hidróxido de amonio es una base fuerte y no ataca rápidamente a los metales ferrosos, excepto a muy altas concentraciones. Sin embargo, las sales de amonio atacan al cobre y sus aleaciones y, por lo tanto, son objetables en agua de alimentación y en agua de circulación en torres de enfriamiento, cuando se encuentra aún en concentraciones relativamente pequeñas.

La solubilidad del amoníaco es afectada grandemente por el valor del PH del agua. El bióxido de azufre, el sulfato de hidrógeno y otros gases, se encuentran presentes en algunas aguas. Estos compuestos corroen el níquel y las aleaciones de cobre. La velocidad de ataque se acelera cuando también se encuentran presentes, disueltos en el agua, bióxido de carbono junto con oxígeno.

La eficiencia de los equipos para remover algunos gases; se me

jora manteniendo:

1. Un valor bajo de pH en el agua; y
2. Gastos bajos a través del equipo en operación

4.2.2 PROCESOS PARA DESGASIFICACION

La remoción de gases del agua, como se practica en las estaciones de vapor, se efectúa por tratamiento mecánico y térmico, por la adición de productos o por la combinación de estos procesos. El método más ampliamente empleado consiste en calentar el agua en calentadores, ya sea abiertos o de contacto o en los tipos de calentadores desaeradores de alta eficiencia.

Todos los calentadores de agua para alimentación, ya sean de tipo simple abierto o desaeradores, se distinguen por la manera en que el vapor y el agua se circulan a través de las unidades.

Los 3 diseños usados son:

- 1) Contracorriente completa
- 2) Contracorriente a flujo cruzado
- 3) Flujo paralelo

Los calentadores se denominan también como de charolas ó de tipo de espreas, para identificarlos con respecto a los medios para el calentamiento y la remoción del gas.

4.2.3 CALENTADORES ABIERTOS

Al elevarse la temperatura del agua a 100° C, aproximadamente, el oxígeno en solución se reduce a menos de .3 ml por lt, 300(ppm). Al mismo tiempo, la temperatura del agua se aproximará a la del vapor, con pocos grados de diferencia. Los calentadores de este tipo reducen el oxígeno disuelto del agua alrededor de .3 ml por litro, o a menos de .5 por ciento del contenido inicial de oxígeno. Estos calentadores se diseñan para efectuar el calentamiento del agua, ya sea circulando el agua hacia abajo sobre charolas contenidas en un cuerpo de acero o de hierro colado, o por aspersion del agua dentro del calentador. La fuente de calor en ambos casos, es vapor a presiones baja o intermedia.

Como la solubilidad del oxígeno y otros gases contenidos en el

agua se reduce grandemente bajo calentamiento, los gases son expulsados y descargados a la atmósfera. En muchas instalaciones el vapor de agua y los gases desprendidos, pasan a través de condensadores de venteo para recuperar el condensado y disminuir las pérdidas térmicas.

Los calentadores de tipo de charola, no se adaptan muy bien al calentamiento de aguas que contienen concentraciones elevadas de dureza de carbonato, como los calentadores de espreas, debido a que el carbonato del calcio precipitado obstruye las charolas. También los calentadores de espreas pueden obstruirse por los depósitos ocasionados por tales aguas, pero estos depósitos pueden removerse con menor dificultad que en el caso de las charolas, con menor pérdida de tiempo debido a paros del equipo.

4.2.4 CALENTADORES DESAEREADORES

Los calentadores desaereadores completos, o desaereadores como generalmente se les llama, son similares a los calentadores -- abiertos, pero están diseñados para asegurar una remoción completa del oxígeno y una reducción a valores muy bajos del bióxido de carbono y otros gases contenidos en el agua de alimentación. La mayor eficiencia de tales unidades, se obtiene suministrando suficiente área en las charolas u otros dispositivos, suficiente tiempo de -- contacto para el desprendimiento de los gases y medios adecuados para remover los gases de las unidades sin que sean reabsorbidos.

A causa de estas mejoras, es posible adquirir desaereadores ga rantizados para producir agua con un contenido que no exceda a -- .005 ml por litro.

Son comunes en este tipo de desaereadores, los diseñados con una sección primaria de calentamiento con charolas y un banco secundario de charolas para asegurar una remoción completa del oxígeno.

El vapor alimentado llega a la zona de calentamiento a través de una mampara perforada y fluye hacia abajo por todas las secciones de las charolas, descargando finalmente al condensador. El agua entra a la unidad a través de tubos múltiples perforados. La porción inferior del calentador se encuentra seccionada para almacenar el agua desaerada.

4.2.5 CALENTADORES DE ESPREAS

En este tipo, el agua entra al calentador a través del condensador en dirección a las válvulas de esprea construídas de acero inoxidable u otros metales aleados resistentes a la corrosión. Las válvulas se encuentran tensadas con resortes para efectuar la atomización del agua, la que se inyecta después en forma de capas delgadas o gotas finas al compartimiento superior precalentador. El agua se calienta hasta una diferencia de 3.6 a 5.54° C., con relación a la del vapor durante el tiempo en que cae al fondo de la sección precalentadora, en la que se renueva la mayor parte del oxígeno y bióxido de carbono libre. El agua precalentada y parcialmente desgasificada, fluye entonces hacia abajo a través de un distribuidor estrecho, al lavador de vapor. A la sección lavadora, entra vapor adicional a través de una placa perforada que forma una pared del lavador de vapor y se extiende parcialmente alrededor del calentador. El agua y el vapor se mezclan en este punto, y suben a través de una sección concéntrica en el calentador, a la cual derrama el agua por el borde al pasar al compartimiento para almacenamiento. Al circular a través de un orificio de restricción en esta sección, el agua es lavada por el vapor para remover las trazas de oxígeno o bióxido de carbono. En esta región ocurre una condensación pequeña de vapor, y el vapor y gases no condensables fluyen al precalentador en el que el vapor se condensa al calentar el agua de las válvulas de esprea. Los gases no condensables recojidos en la sección precalentadora, son descargados a la atmósfera a través del condensador. El exceso de vapor que llega al condensador de venteo se recondensa y retorna al calentador. El condensador de venteo es de un tipo convencional y sus tubos son de material resistente a la corrosión. Tanto el condensador como la caja de agua y las válvulas, están diseñadas en forma que puedan ser fácilmente abiertos para su inspección y reparación.

4.2.6 DESAEREACION AL VACIO DE AGUA FRIA

Las unidades desaereadoras, se alimentan del agua fría por la parte superior del desaereador y es distribuída mediante placas

perforadas. El agua cae entonces verticalmente a través de una serie de grupos de tablillas de madera a un tanque de almacenamiento situado en el fondo en el que se regula el nivel de agua y se suministra directamente a la línea de distribución. Se inyecta -- Sulfito de Sodio al efluente del desaerador para complementar la remoción del oxígeno disuelto. Una línea del vacío está conectada a la parte superior del desaerador para remover los gases disueltos, los vacíos son de unos 734 mm de Hg.

4.2.7 REMOCION DE OXIGENO POR ADICION DE COMPUESTOS

Existen diversos productos que pueden ser agregados al agua para remover el oxígeno mediante reacciones directas resultantes de la oxidación del material que se considere más idóneo emplear. El sulfato de sodio, hierro ferroso, hidracina y sales de hidracina, pueden ser y han sido usadas para este propósito.

De todos estos productos, sin embargo, el sulfito de sodio es el más ampliamente usado como producto desaerador para remover el oxígeno disuelto.

4.2.8 DESAEREADORES CONDENSADORES

En algunas estaciones modernas de vapor, los desaeradores ca lentadores han sido eliminados del ciclo y la remoción de gases no condensables se efectúan en el pozo caliente de los condensadores principales. En ellos el condensado se recoge en un canal que tiene una serie de orificios alternados en cada lado. Se aspersan -- corrientes dobles de condensado desde el canal a través de una cortina de vapor. La fuente de vapor procede generalmente del escape de la turbina. El vapor se descarga al pozo caliente.

En instalaciones grandes que requieran agua desaerada, pueden obtenerse economías mediante este tipo de operación.

4.3 REMOCION DE COMPUESTOS CONTENIDOS EN BAJA CANTIDAD

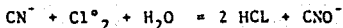
4.3.1 REMOCION DE CIANUROS

Los residuos de cianuros se producen en los procesos metalúrgicos, especialmente en la laminación eléctrica. Se ha considera-

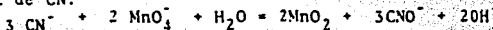
do conveniente la recuperación, pues son nocivos a causa de su elevada toxicidad para los peces y los grandes riesgos que representa su presencia en los Sistemas de Agua Potable.

Por otra parte, debe tenerse especial cuidado en el tratamiento de estos residuos para evitar el paso de ácido cianhídrico a la atmósfera. Los métodos para el tratamiento de los residuos que contienen cianuros, son: la acidificación, la precipitación y la aplicación de cloro. Estos métodos comprenden: 1) La regulación del pH para: a) Romper las emulsiones de aceite; b) aumentar la velocidad de las reacciones; c) impedir la formación de gases peligrosos; d) precipitar los constituyentes metálicos. 2) La neutralización; 3) La oxidación de los cianuros, (usualmente con cloro) y; 4) La reducción del cromo hexavalente. La clorinación alcalina es una forma común de oxidación. Una primera aplicación de unas 3 unidades en peso de cloro por cada unidad en peso de cianuros, transforma los cianuros en cianatos. Después, la adición de otras 5 unidades completa la destrucción de los cianuros. Se necesitan aproximadamente 1.25 unidades de cáustico por unidad de cloro. El pH se regula para mantenerlo entre 8.5 y 10.0, con un pH de 8.6 como óptimo, para la precipitación del cianuro. Comúnmente se usan sulfitos para reducir el cromo hexavalente a trivalente. Se agrega ácido sulfúrico para conseguir una rápida reducción del pH a 2.5 ó 3.0. Se emplea un alcali, generalmente cal para llevar el pH a 8.5 y precipitar el cromo trivalente. Las dosis a usar son aproximadamente: Bióxido de azufre, 2 Kg por kg de cromo; Acido sulfúrico 190 a 260 gramos por metro cúbico de residuo, más 2.5 por gramo de cromo.

El cianuro puede ser oxidado a la forma de cianato en condiciones alcalinas tanto con cloro como con permanganato, conforme a las siguientes reacciones:



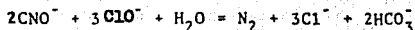
En esta reacción se requiere 2.75 mg/lt de cloro por cada - mg/lt de CN.



En esta reacción se requiere 4.1 mg/lt de KMnO_4 por cada mg/lt de CN.

Ambas reacciones se llevan a cabo a un pH mayor de 10. En el caso de cloro, es importante mantener este pH para evitar la formación de cloruro de cianógeno, que es tóxico.

Aun cuando el cianato es mucho menos tóxico que el cianuro, a menudo es necesaria su destrucción completa, y se requiere oxidación posterior del cianato con cloro e hipoclorito según la siguiente ecuación.



Combinada con la reacción anterior, la destrucción completa del CN a N_2 requiere 6.9 mg/lit de Cl_2 por cada mg/lit de CN.

El pH óptimo para la segunda etapa de esta reacción es alrededor de 8.5. Como en las otras reacciones de oxidación, debe considerarse al tiempo como un factor importante; las reacciones de cianuro requieren por lo común más de 10 minutos y un exceso de agente oxidante para proporcionar destrucción completa.

4.3.2 REMOCION DE CROMO

Los residuos de cromo se obtienen en ciertos procesos metalúrgicos, especialmente en la laminación eléctrica. La estructura molecular y comportamiento de los compuestos de cromo es compleja. Existen más de 2,000 compuestos de cromo. Los residuos que contienen más de .5 mg/lit de cromo hexavalente, no deben descargarse en los sistemas urbanos de recolección de aguas; y, como límite extremo para tolerar aportación de agua con cromo hexavalente a los sistemas urbanos de recolección se propone la magnitud de 1 mg/lit.

Los principales métodos para el tratamiento de los residuos de cromo son:

- 1) Reducción y precipitación.
- 2) Precipitación y recuperación parcial de los constituyentes convenientes por electrólisis.
- 3) Como otra alternativa con algunas posibilidades, está el intercambio de iones.

La eliminación del cromo hexavalente, puede llevarse a cabo por reducción con sulfato ferroso y precipitación como hidróxido o un pH de 8.5 a 9.0 usando cal.

4.3.3 REMOCION DE RESIDUOS DE TRINITROTOLUENO

El trinitrotolueno está compuesto por una mezcla de ácidos -- nítricos y sulfúrico. Los residuos carecen de olor y no tienen una demanda bioquímica de oxígeno apreciable.

Cuando los residuos de TNT constituyen el 25% ó más; dificultan la eficacia del funcionamiento de los filtros de escurrimiento. Por lo regular la adición de agua proveniente de planta de producción de TNT con el agua urbana recolectada genera un incremento en el color del efluente y consecuentemente un fuerte incremento en la turbiedad. Una alternativa para eliminar este tipo de residuos consiste en la neutralización de los residuos, su concentración en evaporadores especiales de efecto múltiple, y la incineración del jarabe formado por medio de hornos giratorios para convertirlo en cenizas; que luego se depositan, en algún lugar destinado a tal fin.

Los residuos se producen en la zona de lavado del proceso, donde se purifica el "Tri-aceite" y se cristaliza el TNT.

El volumen de agua usada en estos lavados es por término medio de 269 lt por cada 100 Kg de TNT. Los residuos son muy ácidos, con una acidez de unas 25,000 ppm en el primer lavado y de 7,000 ppm en el segundo.

Esta acidez se reduce mediante sustancias alcalinas, hasta formar un pH neutro; con el cual, ya pueda evacuarse el agua, sin acidificar la corriente del efluente al que se descarga.

4.3.4 REMOCION Y EVACUACION DE RESIDUOS RADIOACTIVOS

Entre los métodos para eliminar los residuos radioactivos figuran:

- 1) Un almacenamiento suficientemente prolongado para permitir la desintegración.
- 2) La dilución en corrientes de agua naturales, con sustancias inherentes, o combinando el isótopo radioactivo con el isótopo estable del mismo elemento.
- 3) El enterramiento bajo tierra
- 4) La introducción al mar.

CONCENTRACIONES MAXIMAS TOLFRABLES

<u>ISOTOPO</u>	<u>mg/l</u>
Uranio, U ²³⁸	5×10^{-11}
Radio, Ra ²²⁶	4×10^{-8}
Cesio, CS ¹³⁷	5.7×10^{-5}
Estroncio, SR ⁹⁰	4.9×10^{-9}
Estroncio, SR ⁸⁹	2.5×10^{-9}
Fósforo, P ³²	6.8×10^{-10}
Yodo, I ¹³¹	2.3×10^{-10}
Sodio, Na ²⁴	8.8×10^{-10}

No debe admitirse una descarga de más de 100 microcuries por litro.

La Comisión Mundial de Energía Atómica, ha aprobado una reglamentación que permite descargar residuos radioactivos a los sistemas colectores, siempre y cuando:

1) El material sea fácilmente soluble en agua.

2) Por cada miligramo de aguas negras, el metal radioactivo no exceda de un milicurie de estroncio (90) o polonio

(210); 100 mc de yodo (131) o fósforo (32) o cualquier material radioactivo que tenga vida media de menos de 30 días; o 10 mc de otro material radioactivo.

Es más fácil evitar que los residuos radioactivos entren a un sistema colector, que eliminarlos al final del sistema en las plantas de tratamiento.

En caso de descarga de desechos radioactivos a los efluentes, el líquido a descargarse requiere de un cierto tiempo de retención en tanques aislados con plomo y gran espesor de paredes, para permitir un cierto tiempo de desintegraciones que logre un efluente de menor intensidad radioactiva.

En el caso de descargas muy concentradas, es indispensable -- aplicar métodos de coagulación, precipitación e intercambio iónico. Otro tratamiento más estricto para concentraciones mayores de radionúclidos, es la concentración por evaporación. Por este proceso se separa al desecho en dos partes, un condensado cuya descarga es poco dañina y un desecho residual muy concentrado. Otro recurso es

el empleo de electrodiálisis.

La coagulación convencional ha producido eliminaciones mayores al 90% para la mayoría de los radionúclidos catiónicos con una valencia de 3 ó más, para P^{32} como fosfato, para I^{131} como yodo, cuando se agrega nitrato de plata y para Pu. Los elementos SR y CS son difíciles de eliminar por coagulación convencional. - La filtración, generalmente eliminará sólo aquellos materiales radiactivos asociados en sólidos en suspensión. El proceso cal-sosa de suavización ha sido eficaz en la eliminación de la mayoría de los radionúclidos estudiados incluyendo estroncio, pero no cesio. El exceso de calcio auxilia en la precipitación del estroncio, y se han reportado altas eliminaciones.

Las resinas de intercambio de cationes han sido encontradas eficaces para la eliminación de radionúclidos aniónicos, tanto en columnas separadas como en lechos mixtos. La arena verde (glauconita) y la arcilla, también muestran propiedades para el intercambio de cationes. La longitud de trayectoria es función del contenido inicial de sólidos disueltos en el agua. Sin embargo, la eliminación de los radionúclidos continúa después de una saturación de dureza.

Dentro de las técnicas modificadas, el estroncio y otros radionúclidos que forman fosfatos insolubles pueden ser eliminados efectivamente mediante una coagulación de fosfatos. En la eliminación de estroncio, es necesario un control cuidadoso del pH y de la relación fosfato-calcio. Puede ser efectiva una celda electrolítica para la eliminación de constituyentes solubles.

Se puede eliminar varios contaminantes radioactivos mediante el arrastre con polvo metálico, esto, a excepción de I^{131} Cs^{137} y Ba. El material arcilloso es efectivo para la eliminación de muchos cationes utilizando concentraciones mayores a 1000 mg/lt; el inconveniente es una producción excesiva de lodos. Para aguas en bajos volúmenes con muy alta pureza la destilación es adecuada, pero muy costosa.

4.3.5 REMOCION DE HIERRO Y MANGANESO

El hierro y el manganeso pueden existir en estado oxidado o reducido. El hierro se presenta usualmente en estado oxidado en

los suelos y en las rocas, en forma de compuestos insolubles. -- Cuando tales suelos o rocas se inundan por las aguas de grandes embalses, la descomposición de la materia orgánica tiende a eliminar el oxígeno disuelto del agua que está en contacto con el suelo y los compuestos de hierro y manganeso son reducidos, dando origen a compuestos solubles. Cuando el agua de las lluvias se infiltra en el suelo, el oxígeno disuelto se elimina por la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, el agua subterránea disolverá también los depósitos de hierro y manganeso.

El manganeso puede encontrarse asociado al hierro, y en este caso la eliminación se hace más difícil. Cuando se encuentran presentes en cantidades superiores a unos .3 mg/lit, bien solos o en conjunto se pueden observar los siguientes efectos: Un gusto del agua desagradable, un enrojecimiento del agua que origina manchas en las cañerías y en la ropa, acumulación de hierro precipitado en las conducciones de agua, desarrollo de hongos y bacterias ferrosas. Las manchas de manganeso presentan un tinte pardo oscuro, más que rojo. Los tratamientos necesarios para la eliminación del hierro y del manganeso dependerán de las circunstancias por las cuales se hallan presentes en el agua. Para establecer el tipo de tratamiento más efectivo pueden ser necesarios prolongados ensayos de laboratorio, e incluso en planta piloto. El hierro sólo, en ausencia de materia orgánica, puede eliminarse generalmente mediante una aireación cualquiera, seguida de sedimentación y filtración. La aireación, con todo, no solo debe proporcionar oxígeno para oxidar el hierro, para lo que se precisan .14 ppm de hierro, sino que también debe eliminar el anhídrido carbónico presente. Las combinaciones de hierro y manganeso, o de hierro solo, debilmente combinados con materia orgánica, puede requerir de aireación en múltiples cubetas, grava pirolusita (Dióxido de manganeso natural), seguida de sedimentación y filtración. Las cubetas múltiples pueden trabajar a regímenes tan elevados como de hasta 200 a 400 lts/min/m² de superficie total. A menudo se practica en este tipo de instalaciones la ventilación forzada. En otros casos será más eficiente la aireación-cloración, o la cloración sola, seguidas de sedimentación y filtración. Las aguas de pozos que no con-

tengan oxígeno disuelto, pueden tratarse en unidades de zeolita de sodio o de manganeso si es necesario, sin necesidad de aireación. Las aguas subterráneas blandas carentes de oxígeno, pueden tratarse con cal (a pH 8 - 8,5), en tanques de mezcla y sedimentación cerrados, seguidos de filtración a presión. La sedimentación, en los casos anteriormente citados, debe ayudarse además, generalmente, con una coagulación y los filtros en caso de no existir contaminación bacteriológica, puede ser del tipo de presión.

Las unidades intercambiadoras de cationes también eliminan hierro y manganeso, presentes en forma soluble. Sin embargo, si el agua se aerea previamente y el hierro se oxida a una forma insoluble, el precipitado tenderá a obstruir la zeolita. Los intercambiadores de cationes pueden continuar eliminando hierro y manganeso después de que hayan perdido gran parte de su habilidad para eliminar la dureza. Existen también intercambiadores especiales para la eliminación de manganeso que se regeneran con sodio o permanganato de potasio. Para aguas de pozo que no contengan oxígeno, pero contengan 1.5 a 2.0 mg/lt de hierro y manganeso, se pueden utilizar los intercambiadores de cationes de sodio o de hidrógeno con un intercambiador de manganeso para tratar el agua desviada.

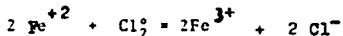
En algunos casos, la eliminación de hierro y manganeso necesita el uso de cal, ya sea sola o con un coagulante. La cal se utiliza sin coagulante para agua suave de pozos que no contiene oxígeno, pero que contiene hierro en forma de bicarbonato ferroso. El hierro se cambia a una forma insoluble y debe eliminarse. El pH necesario varía entre 8.0 y 8.5. La cal también se utiliza sin coagulante para eliminar el hierro y el manganeso de aguas que contengan grandes cantidades de bióxido de carbono y ácido orgánicos. Este procedimiento necesita un control de pH en el rango de 8.5 a 9.6, mezclado, sedimentación y filtración.

Una agua superficial turbia y coloreada que contenga hierro y manganeso combinados, y materia orgánica, debe tratarse por coagulación con cloruro férrico, sulfato férrico, caparrosa clorada, y después debe pasarse a través de un tipo convencional de filtro de arena rápido.

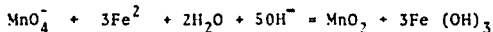
Se pueden utilizar metafosfatos para evitar la precipitación de hierro y manganeso. Su uso es aplicable, generalmente, cuando la concentración de hierro es menor a 1.0 mg/lit.

Se necesita una aplicación de unos 2 mg/lit. Los metafosfatos no son efectivos si el agua se calienta a más de 70° C.

Cuando es relativamente baja la cantidad de hierro que debe removerse, del orden de 2 a 3 mg/lit, puede ser removido directamente en un filtro, pero esto requiere un oxidante mas poderoso que el aire y la presencia de un catalizador, como manganeso, con un aumento del pH a un valor mínimo de 8.5. Aún con esto, el tiempo de residencia en el filtro mismo puede no ser adecuado para la oxidación completa y la remoción del hierro, y puede requerirse de un tanque de retención para este propósito. La oxidación del hierro con cloro y permanganato de potasio se muestran en las dos reacciones siguientes:



reacción que requiere .64 mg/lit de Cl_2 por cada mg/lit de Fe.



reacción que requiere .95 mg/lit KMnO_4 por cada mg/lit de Fe.

El pH tiene efecto pronunciado en la remoción del hierro. Aunque el potencial de oxidación tanto del cloro como del permanganato decrecen cuando el pH aumenta, la velocidad de la reacción aumenta de modo significativo al aumentar el pH. También la solubilidad del hierro oxidado disminuye al aumentar el pH.

4.3.5.1. MANGANESO

Se tienen métodos especiales para la eliminación del manganeso solo. Se pueden utilizar arena verde e intercambiadores de cationes de hidrógeno eliminarán el manganeso en bicarbonato, cloruro o sulfato. La zeolita de manganeso, hecha de zeolita de arena verde procesada mediante tratamientos alterados con sulfato de manganeso y permanganato de potasio, no suaviza al agua, pero es efectiva en la eliminación del manganeso y del hierro.

Como el manganeso se elimina mediante coagulación solo con valores elevados el pH, es necesario utilizar un coagulante que sea cfi

caz con valores de pH cercanos a 9. Se utiliza, usualmente, el sulfato ferroso. El manganeso se puede oxidar con cloro residual libre con un pH de 9.4, esta oxidación está seguida por una sedimentación y filtración.

Cuando el contenido de manganeso no excede a 1 mg/lt, se pueden utilizar polifosfatos para mantener al manganeso en solución. Se necesitan alrededor de dos partes de polifosfato por cada parte de manganeso.

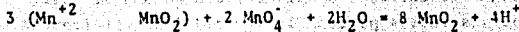
4.3.5.2 USO DE BICARBONATOS

La oxidación del Fe^{+2} y del Mn^{+2} es solo parte del proceso de remoción. La coagulación y la sedimentación o filtración final determinan la eficiencia de la remoción. La reacción de oxigenación controla la velocidad hasta llegar a un pH de 8.5 para el manganeso manganoso. La coagulación de los óxidos de Fe^{+3} y Mn^{+4} es rápida dentro de gamas de pH neutro o ligeramente ácido, y la remoción de los óxidos por filtración por arena es mejor dentro de las mismas gamas. Los óxidos hidratados de Fe^{+3} y Mn^{+4} tienen grandes capacidades de absorción respecto a los iones bivalentes metálicos.

En la práctica, la remoción del hierro y manganeso generalmente se acelera y se hace mas eficiente si se deja gotear, en forma descendente el agua a través de coque o piedra triturada, o bien, ascender a través de grava u otros materiales relativamente gruesos y pesados.

Los filtros de arena y antracita deben "madurar", es decir, llegar a cubrirse con óxidos hidratados para remover efectivamente al hierro y al manganeso. La alcalinidad de las piedras calizas, las dolomitas y los óxidos de magnesio los hace ser no solo medios útiles de contacto durante la oxigenación del Mn^{+2} y Fe^{+2} , sino -- también adsorbentes poderosos del Mn^{+2} y Fe^{+2} no oxidados, después de que la superficie se ha cubierto con los productos de oxidación. En forma similar, la tierra diatomacea, las arcillas y zeolitas -- que se han cubierto con MnO_2 , tratándolas mediante Mn^{+2} y MnO_4^- proporcionan excelentes interfases para la remoción de hierro y manganeso. Cuando se ha agotado la capacidad de adsorción de las superficies, estas se pueden, en ciertos sentidos, regenerar.

El permanganato hará esto, es decir:



La sedimentación de los precipitados de óxidos que se deslavan o escapan de las unidades de contacto, se puede acelerar y mejorar por coagulación. Se pueden remover cantidades muy pequeñas de hierro y manganeso mediante la aplicación de polielectrólitos catiónicos, alumbre y hierro⁺³.

4.4 INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico, remueve los iones indeseables, transfiriéndolos a un material sólido llamado: intercambiador iónico; El cual los acepta cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que, se encuentra almacenada en el esqueleto del intercambiador de iones. El intercambiador iónico tiene una capacidad limitada para almacenar iones en su esqueleto llamada: capacidad de intercambio; debido a ello en cierto momento llega a saturarse con iones indeseables, entonces se lava con una solución fuertemente regeneradora que contiene la especie deseable de iones, los que substituyen a los iones indeseables acumulados, dejando el material de intercambio en condición útil. Esta operación constituye un proceso cíclico, que incluye retrolavado, regeneración, enjuagado y puesta en servicio.

Los primeros intercambiadores eran aluminosilicatos de sodio inorgánicos.

Los intercambiadores iónicos que se emplean en el acondicionamiento de agua, son estructuras en forma de esqueleto que poseen muchos sitios para intercambio iónico.

El esqueleto de plástico insoluble, es un ión de enorme tamaño cargado eléctricamente para retener iones de carga opuesta. Los intercambiadores de aniones tienen sitios positivos cargados y, en consecuencia, toman iones negativos. La estructura de plástico es porosa y permeable, de modo que todas sus partículas diseñadas para intercambio iónico participan por completo en el proceso.

Para que el suministro de agua sea satisfactorio y pueda utilizarse en procesos o en alimentación de calderas, algunas veces

es necesario eliminar cationes o aniones, o bien ambos. Ciertas sustancias insolubles poseen la capacidad de intercambiar los iones enlazados en su estructura molecular con otros iones dentro del agua. Los iones intercambiados se liberan por un proceso de regeneración de la resina de intercambio. Dependiendo de la naturaleza de ésta resina, pueden intercambiarse iones de carga positiva o negativa. Una diferencia que distingue a los procesos de intercambio iónico de la precipitación, es que en los primeros sólo se producen como desecho soluciones, en tanto que en el segundo, se producen tanto líquidos como sólidos.

Los intercambiadores típicos tienen forma de granos de un tamaño de 20 a 40, correspondiente al rango .8 a .4mm.

Existen cuatro principios importantes en la aplicación comercial del intercambio iónico al tratamiento de aguas:

1. La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente sobre una base cíclica.

a) se opera la unidad hasta un nivel de fuga predeterminado, donde se considera que está agotada;

b) Se regenera la unidad, primero por una limpieza por flujo ascendente, como en el retrolavado de filtros y luego por elución por flujo descendente.

c) En esta etapa el lecho de resina es enjuagado por flujo descendente. Puesto que tanto el agua como el regenerante fluyen en la misma dirección, el agua que abandona la unidad, está en contacto con la resina cuando el nivel de iones contaminantes de ésta, es un máximo.

2. El lecho intercambiador de iones tiene una capacidad considerablemente superior a la que es empleada, ya que se requeriría una cantidad excesiva de regeneradores para restablecer la resina completamente a la forma iónica, lo que sería antieconómico. Por ejemplo: la resina de cationes puede tener una capacidad de 44 Kg/pie³, sólo la mitad de ella, unos 20 Kg/pie³, se emplea en el intercambio iónico.

3. A causa de la operación cíclica por flujo de agua y regenerante, por lo común son pocos los compuestos empleados en la regeneración de las resinas de intercambio iónico, la mayor parte de los materiales de intercambio iónico empleados en el tratamiento del agua, tienen dimensiones efectivas que fluctúan entre las mallas #20 y #50, ó sea, alrededor de $.5 \text{ mm}$. Esto hace que el lecho de intercambio iónico sea un filtro muy efectivo, característico que tiene varias ventajas.

Esta capacidad de filtración puede combinarse con las propiedades de intercambio iónico. En los sistemas de purificación de los condensados industriales, es muy frecuente el uso de lechos de intercambio iónico. Los materiales de intercambio iónico de grado industrial muestran una relativa insensibilidad, respecto a el agua. En los materiales de intercambio iónico aparecen ciertos cambios durante su vida útil, anualmente es necesario reemplazar alrededor de 10% de la resina de cationes y 20% de la resina de aniones. Una unidad individual de intercambio iónico que opera sobre un influente de calidad constante, mostrará de una corrida a otra, variaciones en su capacidad, debido básicamente a la incapacidad de lograr una distribución perfecta en el flujo a través del lecho de intercambiador iónico. Suelen ocurrir desviaciones entre el 5 y el 10% en cada ciclo, la mayor parte de los problemas de eficiencia pueden atribuirse a la suciedad de los lechos de intercambio iónico, a causa de un retrolavado defectuoso. Para una limpieza adecuada, el lecho debe expandirse hasta que se encuentre muy cercano a la salida de retrolavado en la parte superior de la unidad de intercambio iónico, la velocidad con que se mueve la suciedad en el lecho sin expandirse es mayor que cuando éste ya se ha expandido, y es recomendable al principio de la expansión, velocidades fuertes. En resinas de aniones se recomiendan los lavados con velocidad de flujo de $.12 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$, lo que corresponde a una velocidad de levantamiento de $13 \text{ cm}/\text{min}$. Si el espacio libre, es por ejemplo de 75 cm (30", que es muy común), pasarán por lo menos 6 minutos antes de que la superficie del lecho se haya expandido hasta la salida del retrolavado, y deberá darse un tiempo adicional para que los -

sólidos acumulados en el lecho sean liberados y descargados de la unidad. Debe cuidarse la aplicación correcta de los compuestos de regeneración, pues en caso contrario, esto puede llegar a ser una causa importante del funcionamiento pobre de la resina.

La mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales son de materiales plásticos como: copolímeros de estireno y divinil benceno.

Existe un balance fino entre la producción de un polímero poco entrecruzado que permite la entrada libre del agua para que la reacción sea rápida, pero que sólo es ligeramente soluble, y una resina muy estructurada que sería -- insoluble, pero de uso más difícil a causa de las velocidades restringidas de intercambio tanto en el agotamiento como en la regeneración. Los intercambiadores para acondicionamiento de agua, son en esencia insolubles - y su vida útil esperada es de 5 a 10 años.

4.5 CONTROL DE OLOR, COLOR Y SABOR

Algunos sabores, colores y olores son producidos por los constituyentes minerales del agua. Como por ejemplo, puede mencionarse el sabor salado que se manifiesta cuando los cloruros se hallan presentes en cantidades mayores a 500 mg/lit, y el olor a "huevo podrido" producido por el sulfuro de hidrógeno en algunas aguas de pozo. Sin embargo, los olores, colores y sabores que más se localizan en el agua son los causados por la actividad biológica.

FUENTES DE SABORES Y OLORES:

<u>CAUSA</u>	<u>% DE CASOS</u>	<u>PROCESO CARBON</u>	<u>APLICADO % CLORACION</u>	<u>AEREACION</u>
Algas	82	82	15.5	2.5
Vegetación en putrefacción	67	85	13.8	1.2
Desechos Industriales	38	61	35.7	3.3
Otros	23	85	13.2	1.8

Algas Diatomeas: Astetionel y sinedra
 Protozoarios: Sinura y dinobrión
 Cianofitas: Anabena y Afinizomenol
 Clorofitas: Volvox y Stautarstrum
 Hongos: Crerotriz

Por lo común, los efectos varían mes a mes, y de modo aún más notorios de estación a estación.

4.5.1 APLICACION DE SULFATO DE COBRE

Las algas son habitantes comunes en la mayoría de depósitos para el abastecimiento de agua. Muchas algas, si se les permite completar sus ciclos de vida o si se les da muerte después de alcanzar su crecimiento, producen aceites y productos de descomposición que son responsables de sabores y olores altamente desagradables. El tratamiento usual para el control del crecimiento de algas es una aplicación de sulfato de cobre, CuSO_4 , al agua para evitar el desa

rollo de las algas. Este producto destruye las algas muy eficazmente. Sin embargo, es preferible prevenir los crecimientos de algas que matar las algas desarrolladas. Por lo tanto, cualquier programa para el control debe incluir un muestreo representativo de todas las áreas potenciales productoras de un depósito, apareados con exámenes microscópicos para detectar e identificar crecimientos incipientes. Este programa no sólo permitirá una aplicación oportuna del sulfato de cobre, sino que también indicará aquellas áreas que no necesiten tratamiento.

4.5.1.1 CANTIDAD DE SULFATO DE COBRE

La reacción exacta por la cual el sulfato de cobre mata las algas es desconocida, pero la destrucción se lleva a cabo en el término de unos cuantos días. Para el control, debe aplicarse una cantidad suficiente de sulfato de cobre para matar las algas que causan dificultades. Esta aplicación debe hacerse en forma de una sola dosis. Las dosis inadecuadas aplicadas a intervalos, generalmente no dan resultados satisfactorios.

CANTIDADES DE SULFATO DE COBRE NECESARIAS PARA MATAR DIFERENTES MICROORGANISMOS DEL AGUA.

Tipo de organismo	Sulfato de cobre	
	(mg/lt)	(lb/millón de gal)
Anabaena	0.12	1.0
Aphanizomenon	0.12-0.50	1.0-4.2
Asterionella	0.12-0.20	1.0-1.7
Beggiatoa	5.0	41.7
Ceratium	0.33	2.8
Ciathrocystis	0.12-0.25	1.0-2.1
Coelosphaerium	0.20-0.33	1.7-2.8
Crenothrix	0.33-0.50	2.8-4.2
Cryptomonas	0.50	4.2
Cylindrospermum	0.12	1.0

Tipo de organismo	Sulfato de Cobre	
	(mg/lit)	(lb/millón de gal)
Dinobryon	0.18	1.5
Eudernia	10.0	83.4
Glenodinium	0.50	4.2
Hidrodictyon	0.10	0.8
Mallamonas	0.50	4.2
Pandorina	10.0	83.4
Peridinum	0.50-2.0	4.2-16.7
Sphacrotillis natans	0.40	3.3
Synedra	0.36-0.50	3.0-4.2
Synura	0.12-0.25	1.0-2.1
Tabellaria	0.12-0.50	1.0-4.2
Uroglena	0.50-0.20	0.4-1.7
Volvox	0.25	2.1

El sulfato de cobre matará a los peces si se aplica en cantidades que excedan a su tolerancia

CANTIDADES DE SULFATO DE COBRE QUE PROBABLEMENTE MATEN AL PEZ.

Tipo de pez	Sulfato de Cobre	
	(mg/lit)	(lb/millón de gal)
Robalo	2.00	16.7
Carpa	0.33	2.6
Barbo	0.40	3.3
Carpa dorada	0.50	4.2
Perca	0.67	5.6
Rémora	0.33	2.8
Rueda	1.33	11.1
Trucha	0.14	1.2

Sin embargo, existirán variaciones en la resistencia de los individuos, así como en las diferentes familias y géneros. También, la temperatura, alcalinidad, dureza, y contenido de bióxido de carbono del agua afectarán la cantidad necesaria.

Obviamente, la cantidad de sulfato de cobre necesaria estará gobernada por el tipo de organismo presente que sea más resistente al sulfato de cobre. Cuando no se cuenta con una identificación de finida, se puede llevar a cabo una prueba de vasija con concentraciones de sulfato de cobre variables entre 0.1 y 0.6 mg/lt. La cantidad menor que mate las algas en 3 a 5 días debe ser la utilizada en el tratamiento. Al efectuar estas pruebas, deben utilizarse muestras representativas del agua del depósito, y la temperatura debe mantenerse igual a la del depósito que se va a tratar.

Cuando se ha determinado la dosis necesaria de sulfato de cobre, debe calcularse el volumen de agua que se va a tratar. En muchos casos será imposible determinar este volumen exactamente, y se tendrá que hacer una aproximación mediante sondeos y un mapa de la superficie del agua.

4.5.1.2 DISOLUCION DE SULFATO DE COBRE.

El sulfato de cobre se aplica usualmente cerca de la superficie del agua en forma de cristales. Para un depósito pequeño, los cristales se pueden colocar en una bolsa, la que se jala desde un bote. Si el agua está tibia, se debe utilizar una bolsa bien apretada para evitar una disipación demasiado rápida y, por lo tanto, dosis más fuertes de lo necesario. El bote se puede mover a lo largo de trayectorias paralelas separadas 2 a 10 m, o a lo largo de dos juegos de trayectorias paralelas perpendiculares una a la otra. En otro método de aplicación, el producto en forma de polvo se esparce mediante un disco rotatorio. El sulfato de cobre también se ha aplicado en forma de solución. Uno de los mejores métodos, donde es posible, es alimentar el sulfato de cobre al agua que escurre hacia el depósito. La mayoría de las algas crecen en aguas relativamente poco profundas. Sin embargo, si se desea aplicar sulfato de cobre a grandes profundidades, se puede utilizar el método del disco con cristales más grandes.

Cuando se va a tratar con sulfato de cobre un depósito, o una parte de él, el trabajo debe efectuarse en forma rápida. En agua tibia el sulfato de cobre se disuelve rápidamente y el cobre

se precipita en forma insoluble, no siendo ya efectivo para destruir las algas. Si existe un retraso en la terminación de la aplicación, los vientos pueden empujar al agua no tratada hacia la sección tratada, sembrando en ella nuevas algas.

El propósito principal del tratamiento con sulfato de cobre es prevenir la formación de compuestos productores de sabores y olores, destruyendo las algas antes de que dichos compuestos lleven a cabo su nociva acción. Son necesarios muestreos y comprobaciones continuas, así como un tratamiento periódico. Si el sulfato de cobre se aplica después de que se haya desarrollado un fuerte crecimiento de algas, las algas muertas se descompondrán intensificando así los olores y sabores. Aun cuando se haya aplicado el sulfato de cobre a buen tiempo, se pueden derivar del tratamiento algunas desventajas. Frecuentemente existe un incremento en el conteo bacteriano después de destruir las algas, y en algunas ocasiones existe un incremento de otros tipos de organismos acuáticos.

4.5.2 EMPLEO DE CLORO Y AMONIACO

La aplicación del cloro y amoniaco es valiosa no sólo para desinfectar aguas, sino también para eliminar, o prevenir el desarrollo de sabores y olores en el agua debido a crecimientos de algas o a la formación de ciertos compuestos resultantes de las reacciones con el cloro solo.

Cuando se utiliza cloro en una planta de agua para el control de sabores y olores generalmente, se aplica en el depósito en el que el coagulante se mezcla con el agua. Entonces permite o ayuda al mantenimiento de residuos de cloro libre en todo el sistema de distribución. Como resultado, la acción oxidante del exceso de cloro convierte muchos de los compuestos productores de sabores en formas menos objetables, y el cloro también previene el crecimiento de organismos que pueden causar sabores y olores dentro de la unidad de la planta tales como decantadores y filtros. La dosis de cloro depende de la naturaleza del problema que debe ser resuelto. Puede variar dese 1 mg/lt hasta 25 mg/lt o aún más en casos poco usuales.

4.5.3 PARTICULAPIDADES DEL OLOR, COLOP Y SABOR Y SU APRECIACION POR EL HOMBRE

El agua puede ser im potable sin ser insípida, e insípida sin ser im potable. Para que sea agradable al paladar el agua debe estar exenta de olor, turbidez, sabor y olor; poseer una temperatura moderada en verano e invierno, y estar bien aireada. Cuando menos cuatro percepciones humanas responden a estas características: las de la vista (color y turbidez); gusto, olfato (olor); - - y tacto (temperatura).

4.5.3.1 COLOP Y TURBIDEZ.

La materia sólida aparece en la mayor parte de las aguas en forma de sólidos suspendidos y materia coloidal. La concentración de los sólidos en suspensión se determina mediante filtrado, secado y pesando los sólidos recogidos en la membrana de filtración. Aquellos sólidos en suspensión que son grandes y pesados se llaman sólidos sedimentables, y pueden determinarse voluntariamente en un cono de sedimentación como una prueba de control sencilla y también pueden secarse y pesarse. Los sólidos que quedan en el agua sobrenadante arriba de la materia sedimentada son muy finos y producen la turbidez.

La turbidez en el agua se mide mediante el efecto de las partículas finas en suspensión sobre un haz de luz. Los métodos analíticos de interferencia luminosa se clasifican como nefelométricos y las mediciones se realizan en unidades de turbidez nefelométricas (UTN). El método nefelométrico original utiliza una fuente luminosa estandarizada, que proporciona los resultados en unidades de turbidez de Jackson (UTJ), llamados así en honor a quien desarrollo la fuente luminosa estandar.

Los estándares de turbidez se preparan con formazina para las determinaciones en un tubo de comparación, lo cual da lugar a una tercera unidad de turbidez, la UTF.

La UTJ se mide mediante un haz luminoso transmitido, mientras que la UTH- se determina mediante la dispersión de la luz, no hay una comparación entre -- las dos unidades que se pueda aplicar a todo tipo de aguas. Por ejemplo; En el caso de los estándares de turbidez preparados con tierra de diatomeas de ma- lla # 325, una lectura de 100 UTH es equivalente a aproximadamente 40 UTJ.

Por lo general, el color es de origen vegetal. Sin embargo, el agua puede ser coloreada también por los desechos industriales, hierro y manganeso en es- tado natural, y por los productos de la corrosión. Para ser agradable tanto a- los visitantes como a los nativos. el color de un agua determinada debe ser -- tenue. Sin embargo, en el pasado, el color normal de un abastecimiento pudo -- ser muy fuerte sin provocar inquietud. Lo mismo puede decirse de la turbidez.

La turbidez proviene de la erosión de los bancos de arcilla, pero también de residuos industriales, productos de la corrosión, así como del crecimiento de algas y otros organismos del plancton.

El ozono puede decolorar las aguas naturales coloreadas, y la coagula - - ción, sedimentación y filtración pueden producir agua casi sin color y materia en suspensión. El público de hoy en día exige una agua limpia.

4.5.3.2. SABORES Y OLORES

Las palabras sabor y olor se usan frecuentemente en forma imprecisa e - - intercambiable. En realidad existen sólo cuatro sabores -agrio, salado, dulce- y amargo- percibidos únicamente por las papilas gustativas de la lengua. Los olores parecen ser innumerables y se sabe que cambian de característica confor me varía la concentración del compuesto odorífero, o intensidad de su olor. -- Sin embargo, una clasificación cuidadosa de los olores indica que puede haber- ciertos olores fundamentales, a partir de los cuales podrían componerse todos- los demás. El menor número en cualquiera de las clasificaciones es cuatro: - - dulce o fragante, agrio o ácido, quemado o empíreumático, y caprino o caprili- co.

Los sabores y olores están asociados con: 1) materia orgánica en descomposición; 2) algas y otros organismos microscópicos vivos que contienen aceites esenciales y otros compuestos olorosos; 3) hierro, manganeso y otros productos metálicos de la corrosión; 4) residuos industriales, particularmente - sustancias fenólicas; 5) cloro y sus compuestos de sustitución, que son - - desinfectantes. y 6) compuestos orgánicos sintéticos no degradables.

En general, los sabores y olores no deberán ser suficientemente intensos como para causar una impresión sobre el consumidor sin que éste los busque de liberadamente. La cloración, tan importante para la seguridad del agua produce frecuentemente, o acentúa, colores y sabores. Afortunadamente éstos se pueden destruir por oxidantes fuertes como el bióxido de cloro y el ozono, así como por el cloro mismo (sobrecloración dirigida hasta la reacción a punto de inflexión, o seguida por dechloración). Muchos de ellos se pueden eliminar por adsorción en carbón activado. Otros se pueden evitar mediante la adición de amoníaco antes del cloro para formar cloraminas. También es importante la prevención de olores y sabores de algas por medio de la prudente destrucción de los crecimientos incipientes, con sulfato de cobre y otros compuestos de - cobre.

Dentro de la escala e intensidad de los olores y sabores generalmente encontrados en las aguas y aguas residuales, las respuestas sensoriales humanas a estos estímulos obedecen a la ley de Weber Fechner. De acuerdo con esta ley, la distinción entre los estímulos del olor y el sabor se limita a las relaciones incipientes, en vez de las diferencias incipientes. Esto explica las series de los Standard Methods (métodos normales) de pruebas para olor, en las cuales los números incipientes se asignan respectivamente, a 200 ml de muestra sin diluir y a muestras de 130, 100, 67, 50, 40, 29, 20 y 14 ml diluidas con agua libre de olor hasta 200 ml. La relación común de diluciones sucesivas es aproximadamente 1.4. Se deduce que la diferenciación humana entre las intensidades del olor y el sabor es relativamente pobre en comparación con sus sentidos mucho más agudos de la vista y el oído. Una razón probable consiste en que las moléculas del olor y el sabor deben ser transportadas a la nariz y a la lengua para llegar a estimular estos órganos sensitivos.

En cambio la vista y el oído responden a las ondas de la luz y el sonido que pueden recorrer grandes distancias a partir de su origen. Además, la energía radiante transmitida puede ser medida y registrada electrónicamente. Como esto no se puede efectuar aún sobre los olores y sabores, el analista de aguas debe cultivar sus sentidos de olfato y gusto y satisfacerse con las determinaciones a nivel incipiente.

Los olores de las aguas residuales municipales y de otra procedencia, sujetas a descomposición, son más fuertes cuando las aguas, o los sólidos separados de ellas, se convierten en sépticos. Sin embargo, existen residuos industriales con olores característicos propios que no se vuelven sépticos. La planeación y administración adecuadas de los abastecimientos y las plantas de tratamiento de aguas disminuirá al mínimo los problemas procedentes de olores y sabores. Esto se puede lograr mediante los procesos de tratamiento que satisfacen a otros propósitos primordiales, tales como los tratamientos de coagulación, sedimentación, filtración y acción biológica (incluyendo el tratamiento de los lodos). Sin embargo, existen procesos en los que el control y la remoción del olor y del sabor son el objetivo principal de propósito específico. Estos incluyen: 1) aireación, 2) oxidación química, y 3) adsorción.

4.5.4 UTILIZACION DEL OZONO

El origen del color natural del agua puede ser debido a varios factores, entre los cuales se pueden citar las materias húmicas, combinadas o no con iones metálicos (entre los cuales se encuentran el hierro y el manganeso), las materias vegetales en descomposición, algas microscópicas y, materias colorantes procedentes de desechos industriales. La eficacia de la ozonización para la eliminación del color ha llamado la atención de los distribuidores de agua en todos los países y su eficacia ha sido certificada por una abundante bibliografía inglesa, alemana, americana, francesa, rusa, etc. Los coeficientes de tratamiento indicados son relativamente elevados: 2 g/m^3 y más, y los tiempos de contacto se escalonan entre 3 y 15 minutos. La velocidad de acción se encuentra en función de la temperatura, del pH y de la presencia de cuerpos extraños cuya previa

eliminación puede producir una disminución de los coeficientes de ozonización. En este punto es preciso mencionar dos aspectos particulares, el de la presencia del hierro y del manganeso y el de las materias orgánicas reductoras.

Frecuentemente existe una relación entre la presencia de iones hierro y manganeso y el color del agua. La eliminación del hierro y del manganeso es tanta que tal vez no justifica la utilización del ozono ya que, frecuentemente, es posible, en efecto, aplicar procedimientos de eliminación diferentes. Sin embargo, estos elementos pueden ser complejos en el seno de grupos aniónicos y se deben destruir previamente. En este caso, el ozono es un agente excepcional que precipita los elementos indeseables en forma de hidratos insolubles de valencia elevada, y esto, para todos los pH que se encuentran normalmente en las aguas naturales.

Esta acción es especialmente interesante en el caso del manganeso. La transformación mediante el oxígeno del aire del manganeso en hidrato tetravalente $Mn(OH)_4$ insoluble, requiere un pH superior a 10 en la ausencia de catalizador y un pH de 8,5 en presencia de óxidos superiores de manganeso. Por el contrario, el ozono provoca, en ausencia de catalizador, una precipitación total a partir de un pH de 6,5.

La presencia de materias orgánicas reductoras tales como los polifenoles, por ejemplo dificulta la eliminación del color mediante los procedimientos habituales. Una ozonización previa enérgica provoca una dislocación de estas materias orgánicas que lleva a una especie de floculación aparente de las materias coloreadas, las cuales pueden ser entonces retenidas mediante un dispositivo mecánico de separación: filtro de microtamiz.

Los sabores y olores constituyen un transtorno especialmente temido por los distribuidores de agua y al que son sumamente sensibles los utilizadores. Estos sabores pueden ser clasificados, según su origen, de la forma siguiente:

- origen mineral:

hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno y mineralización total elevada,

- origen orgánico natural:

- origen orgánico natural:
ácidos húmicos, taninas, materias orgánicas aportadas por la escorrentía y algas; y más frecuetemente masa planctónica,
- origen urbano:
productos de degradación de materias orgánicas de los desechos urbanos (glúcidos, prótidos y lípidos),
- origen industrial:
desechos químicos diversos, detergentes, hidrocarburos y alquitranes,
- origen agrícola:
pesticidas, herbicidas y fertilizantes minerales,
- origen propio del tratamiento:
principalmente productos clorados fijados en las materias contaminantes que acaban de ser enumeradas.

En la realidad, muy pocas veces se observan sabores u olores procedentes de una contaminación única, sino más bien se presentan combinaciones de contaminaciones. En los casos más complejos, se debe luchar contra estas contaminaciones de todo origen, ya sea simultáneamente o bien, sucesivamente durante un año hidrológico.

La ozonización, ya sea final o distribuida en ozonización previa y ozonización final, es, en todos los casos, un medio de eliminación de los olores tenaces "de tierra", de "enmohecido" o "farmacéuticos" sin que aparezcan sabores originados por los clorofenoles, como ocurre en los derivados clorados. Estos sabores que aparecen en las aguas precloradas desaparecen frecuentemente después de efectuar la ozonización.

Por último, el agua ozonada se carga, a causa de la autodes-trucción del residual, de una considerable cantidad de oxígeno disuelto que le confiere un sabor agradable, en opinión del consumidor.

4.5.4 EMPLEO DEL DIOXIDO DE CLORO

El dióxido de cloro se prepara (in situ) en la propia planta

de tratamiento, incorporando una solución de clorito sódico a una solución de cloro a medida que va saliendo del clorador, y pasando ambas soluciones a través de una cámara de reacción. La reacción es:

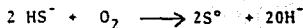


La proporción teórica de cloro a clorito es de 1:4, pero en la práctica la proporción ha de ser de 1:2, o más. El dióxido de cloro, un gas de color amarillo o rojo, es soluble en el agua a las temperaturas ambientales a razón de 2.9 g/lit. Es un buen bactericida y esporicida, pero su costo y sus características de agente oxidante rápido, le hacen más útil como destructor de olores. El procedimiento que describimos a continuación ha sido empleado con éxito en instalaciones en que se presentaron olores desagradables como resultado de la cloración de residuos fenólicos y de la presencia de algas. Se practica la precloración independientemente de los olores y a una dosis tal que se consiga en los tanques de sedimentación un residual combinado de 0.3 a 0.5 ppm, y en el efluente de los filtros (agua filtrada) 0.2 a 0.3 ppm. El dióxido de cloro se añade al depósito de agua limpia a razón de 0.4 a 0.75 ppm de cloro calculadas del conjunto del clorito y del cloro. Luego puede practicarse una post-cloración con objeto de mantener un residual de 0.1 a 0.4 ppm en el sistema de distribución. Una vez que la materia orgánica del sistema haya sido oxidada por el dióxido de cloro, el residual será retenido, en el mismo. Para conocer las dosis necesarias será indispensable la experimentación, y en algunas instalaciones el dióxido de cloro no ha surtido efecto.

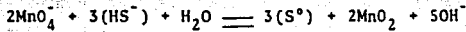
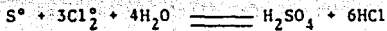
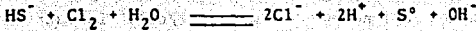
4.5.6 ELIMINACION DEL SULFURO

Los compuestos de azufre inducen un olor peculiar en las aguas. La técnica normal para eliminarlos es oxidarlos a través de algún procedimiento.

En la aereación de aguas que contienen sulfuros para eliminar el olor, parte del sulfuro se convierte en azufre coloidal conforme a la reacción siguiente:



Los sulfuros también pueden ser oxidados por el cloro y el permanganato conforme a las siguientes reacciones:



En todos los ejemplos anteriores es importante reconocer que la oxidación afecta a especies individuales específicas en el agua. Ya que el sistema acuoso contiene una diversidad de especies, algunas de las cuales pueden participar en las reacciones de oxidación-reducción, es clara la imposibilidad de predecir el mejor material oxidante para la reacción, el pH óptimo, el tiempo requerido para su terminación y la dosis del agente oxidante. En el último análisis, los ejemplos anteriores sugieren simplemente el uso de materia les oxidantes potenciales; es necesario efectuar pruebas prepiloto para evaluar éstos y otros materiales para obtener datos que permitan diseñar un proceso de tratamiento efectivo.

4.5.7 UTILIZACION DE LA AIREACION

La aireación del agua elimina fácilmente el sulfhídrico y parcialmente los olores originados por los gases, debido a la descomposición orgánica, si bien los olores y gustos, procedentes de las se creciones oleaginosas volátiles de los organismos vivos y de la disolución de materia orgánica descompuesta o de residuales industria les, se ven poco afectados. Se puede eliminar el simple olor a clo ro, pero los olores debido a las combinaciones entre el cloro y la materia orgánica, sólo se eliminan levemente.

Los dosificadores de aire, en aquellos casos en que el agua ya no sufre una ulterior filtración, deben protegerse contra la entra da de insectos para evitar que las moscas depositen huevos que lue go se desarrollarán en forma de gusanos.

4.5.7.1 BOQUILLAS ROCIADORAS

Estas proporcionan una gran área superficial, pero el tiempo de exposición es corto, 2 segundos o menos, y exigen una considera-

ble presión y tanto espacio que su emplazamiento se hace difícil. Su funcionamiento en tiempo muy frío puede llegar a ser imposible. Pueden reducir el contenido de anhídrido carbónico hasta en un 90%. Generalmente trabajan a presiones de 0,7 a 1,4 Kg/cm². La cantidad de agua que da cada boquilla depende del diseño de la misma y de la presión a que trabaja. Una boquilla bien diseñada, con un orificio de salida de 2,5 cm de diámetro, da unos 275 l.p.m. a una altura de 2.1 m con una presión de 0,7 Kg/cm².

4.5.7.2 CASCADAS

Una cascada simple consiste en un tramo de escalera de 3 ó 4 peldaños metálicos o de concreto sobre los cuales desliza el agua en forma de una delgada lámina; algunos tipos tienen unos vertederos bajos en la periferia de los escalones metálicos. Las cascadas se usan menos que en tiempos pasados. Son de poca o ninguna utilidad en la reducción de los olores de las algas, pero pueden reducir el CO₂ de un 20 a un 45%. La altura necesaria es de 1 a 3 m.

4.5.7.3 DOSIFICADORES DE AIRE DE MÚLTIPLES CUBETAS

Estos están constituidos por una serie de cubetas, cada una de las cuales contienen bolas de coque, escoria, piedra o cerámica de un tamaño de 5 a 15 cm, en un espesor de 20 a 30 cm; el soporte lo constituyen unas simples tablillas, unas placas perforadas o unos tamices. Sin embargo, algunos dosificadores no tienen medio alguno de contacto y su acción sólo depende de las tablillas, placas, etc. Generalmente se emplean tres lechos, distanciados unos 45cm entre sí y el agua se aplica por medio de boquillas rociadoras sobre la cubeta superior o más corrientemente por medio de un recipiente poco profundo que tiene su fondo agujerado con perforaciones de 13 a 5 mm de diámetro y a distancia de 7,5 cms. entre centros. Los caudales varían de 41 a 200 litros por minuto y por m² de superficie total de la cubeta, según la cantidad y la calidad de los gases disueltos a eliminar. Con altas concentraciones de gas deben aplicarse pequeños caudales y emplear material fino, de un tamaño de 4 a 6 cm. La eliminación del anhídrido carbónico puede estimarse aproximadamente con la siguiente fórmula:

$$C_n = 10^{-kn} C_0$$

en la que C_n es la concentración en ppm de anhídrido carbónico después de haber pasado n cubetas, incluido el recipiente de distribución, K es un coeficiente y C_0 es la concentración en ppm de anhídrido carbónico en el agua original. El valor de K varía de 0.12 a 0.16, pudiéndose aplicar el valor más grande si hay una buena ventilación.

4.5.7.4 AIREADORES DIFUSORES

Consisten en unos depósitos de concreto de 2.7 a 4.5 m de profundidad, de 3 a 9 m de ancho y de una longitud suficiente para obtener el tiempo de retención deseado, que es de 5 a 30 minutos. El aire se insufla por medio de difusores del mismo tipo de los empleados en la depuración de residuales y pueden disponerse en el fondo del depósito, o bien pueden ser unos simples cilindros suspendidos. En cualquier caso, el aire irrumpe en forma de finas burbujas. Los difusores se colocan a un lado del tanque, de modo que se forme un flujo en espiral que alarga el contacto de las burbujas con el agua. Las cantidades de aire necesaria varían desde 0.04 a 1.5 litros por litro de agua. Este tipo de aireador tiene la ventaja de proporcionar un largo tiempo de contacto. eliminar los problemas de las heladas, y puede también combinar la mezcla y la floculación.

La aeración es un tratamiento relativamente sencillo, pero su uso y eficacia son muy limitados en lo que a control de olores y sabores se refiere. Sin embargo, la aeración usualmente disminuye la carga de olor y sabor en otros procesos de control.

4.5.8 INTRODUCCION AL USO DE CARBON ACTIVADO

El uso de carbón activado, que es un material especialmente tratado para producir condiciones superficiales de gran capacidad de adsorción, es muy eficaz para eliminar la mayoría de los sabores y olores que se encuentran en un abastecimiento de agua. Generalmente se emplea en forma de polvo fino, en dosis que varían desde 1.2 hasta 6 gr/m³ (10 a 50 lbs/mgal aproximadamente). A veces se requieren dosis mayores, hasta de 36 gr/m³ (300 lbs/mgal aproximadamente), du-

rante cortos períodos de tiempo, para tratar desperdicios industriales concentrados.

La experiencia ha demostrado que la aplicación de carbón al agua cruda disminuye la descomposición de depósitos de lodo en los estanques de sedimentación. Sin embargo, parece ser que el carbón es más efectivo para remover los sabores y olores, cuando está en la superficie de los filtros, que es donde se asegura un contacto íntimo con el agua que se filtra. Debido a esto se ha desarrollado la práctica que consiste en agregar pequeñas dosis uniformes al agua cruda y agregar dosis relativamente mayores y variables al agua sedimentada, lo cual depende de las diferentes necesidades que haya de día en día.

En algunas plantas se prefiere aplicar cantidades relativamente mayores y variables al agua sedimentada, lo cual depende de las diferentes necesidades que haya de día en día.

O durante cortos períodos a cada filtro individualmente inmediatamente después de cada retrolavado. Este procedimiento tiene la ventaja de que en el lecho del filtro hay una cantidad adecuada de carbón no demasiado grande, durante todo su ciclo de operación. Las desventajas que se presentan son: lo difícil de conseguir que el carbón quede formando una capa uniforme sobre la superficie del lecho y una posible disminución de la eficiencia de la remoción de sabores y olores al aproximarse la terminación del ciclo de filtración.

A veces se usa el carbón activado granulado en forma de filtro haciéndose pasar el agua a razón de 80 a 160 lt/min/m² (2 a 4 gpm/sqft). Como el carbón activado, en cantidades grandes, es bastante eficaz para eliminar el cloro del agua, el uso de filtros de carbón se limita comúnmente a aquellos casos en que se desea una decoloración efectiva y una eliminación de sabores y olores, o para ciertos usos industriales. A no ser que el agua que se trate sea clara, los granos de carbón se cubren con una película y los minúsculos poros se obstruyen; por lo que los filtros de carbón se operan usualmente en serie con los filtros de arena y después de éstos.

La dosis necesaria de carbón activo se fija, frecuentemente,

por medio del ensayo de la intensidad de olor, el cual consiste esencialmente en comparar diferentes diluciones del agua maloliente (las diluciones se hacen con agua inodora) con una muestra inodora tomada como patrón. La dilución a la cual el olor escasamente puede detectarse se denomina "Threshold point" o umbral de olor y se expresa cuantitativamente por el número del umbral, que es el número de veces que la muestra de agua maloliente se ha diluido con agua inodora. La cantidad con que normalmente se realiza el ensayo es de 250 ml de una muestra de 50 ml de agua maloliente al diluirla a 250 ml con agua inodora, produce un olor escasamente perceptible, el número del umbral de olor es 5. Como resultado de las observaciones practicadas en el agua del suministro, se decide que número de umbral de olor debe tomarse como límite; y si las muestras del grifo se acercan o exceden dicho límite, se emplea el carbón activo, o si ya se venía usando, se aumenta la dosis.

4.6 ADSORCION

La adsorción es la retención, adhesión o concentración en la superficie de un sólido de sustancias disueltas o dispersas en un fluido.

En las aguas dulces típicas, el grueso de los constituyentes en una muestra filtrada, lo forma los minerales disueltos. Sin embargo, hay cantidades apreciables de materiales no iónicos en forma de coloides. Entre ellos se encuentra sílice, óxidos metálicos insolubles y compuestos orgánicos, como lo son las sustancias que producen olor.

La división entre materia coloidal y partículas de gran tamaño es arbitraria. La frontera superior aceptada por lo general para un coloide es un diámetro de una micra. Por arriba de este tamaño, partículas como las de lino fino tienen una velocidad mensurable de asentamiento y pueden ser removidas por sedimentación, aunque el período para reducir la concentración a la mitad de la original puede ser tan grande como una semana o un mes. Partículas menores de una micra permanecen en suspensión por el impacto de moléculas o iones disueltos en el agua. El movimiento en zigzag puede observarse al microscopio y se conoce como movimiento

browniano.

A medida que el tamaño de la partícula se reduce por debajo de una micra, aumenta la relación de superficie a volumen y, en consecuencia, la carga eléctrica por unidad de masa. Esto, además, estabiliza la materia coloidal, evitando la sedimentación. Puede considerarse que el límite inferior para el tamaño del coloide es alrededor de 1 a 10 milimicras (1 milimicra = .001 micra, $6 \cdot 10^{-6}$ milímetros), muy cercano a las dimensiones de las moléculas grandes en solución.

Posteriormente, los coloides son clasificados en hidrofóbicos e hidrofílicos, resistiéndose los primeros a ser humedecidos por el agua; los segundos son fuertemente atraídos por el agua y, por lo tanto, difíciles de ser adsorbidos. Por ejemplo, los materiales polares como el azúcar y el alcohol no son adsorbidos por el carbón activado.

La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a las superficies de un sólido, un adsorbente, sin que se lleve a cabo una reacción química. En algunos aspectos, la adsorción es semejante a la coagulación y a la floculación. Un aspecto distinto es que la adsorción usa en general un sólido adsorbente procesado especialmente para el tratamiento del agua; en la coagulación y la floculación el adsorbente es producido en el lugar por la reacción química con el agua.

4.6.1 PARTICULAS ADSORBENTES

Los adsorbentes pueden ser materiales en forma de polvo fino, aplicados al agua en un clarificador o antes del filtro, o gránulos de .5 a 1.0 mm contenidos en un recipiente semejante a un filtro de presión. El adsorbente más común es el carbón activado; que se utiliza tanto en forma de polvo como en gránulos. Otros adsorbentes incluyen diversas arcillas, óxido de magnesio, carbón de hueso y alumina activada. También se emplean resinas especiales de intercambio de iones.

Puesto que la adsorción es una reacción de superficie, una medida de la efectividad del adsorbente es el área de su superficie. Para el carbón es de 600 a 1000 m^2 por gramo. Esta superficie está cargada negativamente. A pesar de esto, la carga negativa de la ma

yor parte de los coloides en agua no inhibe la adsorción de materia les de peso molecular elevado, puesto que la misma estructura molecular es el factor que controla a medida que aumenta el peso.

Los adsorbentes son porosos, y es importante el tamaño de los poros. Estos se miden por el número de iodo, número de azul de metileno o número de melaza. El número de iodo, la titración simple más comunmente usada, mide los poros que pasan coloides mayores a 1 milimicra. Para el carbón activado, este número fluctua entre 650 y 1000.

4.6.2 ADSORCION DE SILICE

La adsorción de sílice por el flúculo de hierro o el hidróxido de magnesio producido en el ablandamiento con cal demanda que se mantenga alta la densidad de lodo para que el funcionamiento sea eficiente. De las variedades de recipientes de coagulación disponibles para el tratamiento del agua, aquellos que proporcionan el máximo contacto del agua que debe tratarse con el lodo denso son los que producen la mejor reducción del sílice.

4.6.3 ADSORCION CON RESINAS

Se han desarrollado resinas especiales de intercambio de iones para funcionar como adsorbentes en la remoción de materia orgánica del agua. El paso primario de los influentes a través de resinas protege contra ensuciamiento a equipos más sofisticados y más propensos a ser afectados por la materia orgánica, como en el caso de los desmineralizadores. Los equipos para adsorción de materia orgánica por medio de resinas, son similares a las unidades de intercambio de iones ordinarias. Las resinas son sensibles al cambio de temperatura; las velocidades menores de reacción a bajas temperaturas, requieren que las velocidades de flujo sean seleccionadas para el agua más fría provista. Un caso de aplicación en gran escala para cargas orgánicas extremadamente grandes, son los del tratamiento de aguas utilizadas en fábricas de pulpa Kraft, donde las resinas están diseñadas particularmente para la lignina y materiales orgánicos similares que se encuentran en estas aguas.

4.6.4 ELIMINACION POR ADSORCION DE LA MATERIA ORGANICA

Si es alto el contenido de materia orgánica en el agua, y relativamente constante a través del año, resulta más económico instalar filtros de presión que contengan carbón granular o resina que aplicar continuamente las elevadas dosis de carbón en polvo necesarias para lograr iguales propósitos. El carbón granular típico está entre el que pasa las mallas 8 a 30 y tiene un tamaño efectivo de .9 mm y un coeficiente de uniformidad de 1.8.

En lechos de carbón activado empacados también puede hacerse regeneración, si el material orgánico es volátil, esto a través de tratamiento con vapor. Sin embargo, es más convencional remover el carbón y volver a procesar el material en un horno. En grandes instalaciones, el horno se coloca como parte del proceso de carbón activado; en instalaciones más pequeñas puede desecarse el carbón, o ser removido y devuelto al fabricante para que lo vuelva a procesar.

Los lechos empacados de resina de intercambio de iones, son regenerados con salmuera, haciendo que se contraigan los lechos intercambiadores de iones y que se expela la materia orgánica adsorbida.

Ya que las reacciones de adsorción son relativamente lentas, sobre todo en agua fría, los lechos empacados se operan lo común con flujos más bajos que los filtros y los sistemas de intercambio de iones de ordinario por debajo de 2 gpm por FT³. Es común que la profundidad de los lechos sea mayor de cuatro pies, y el tiempo de retención en el lecho fluctúa entre 10 y 30 minutos. Para evaluar el funcionamiento de los lechos granulares por lo normal se realizan estudios previos en planta piloto. Si se debe remover material orgánico de una corriente de desecho, el programa de prueba debe ser extenso, ya que deben obtenerse datos no sólo de la eficiencia de remoción del adsorbente, sino también de la capacidad de regeneración del adsorbente agotado.

Cuando se usa carbón, la regeneración mediante combustión es un proceso difícil de evaluar en una planta piloto; por otra parte la prueba de un adsorbente del tipo de intercambio de iones es simple, ya que la regeneración se efectúa con salmuera.

4.6.5 RECUPERACION DE LOS MATERIALES DE ADSORCION

Para poder indicar si es recuperada por completo la capacidad de una resina, las pruebas deben de repetirse durante un tiempo -- bastante grande, y luego, posteriormente, se podrá establecer en que medida y con que frecuencia es necesario el reemplazo de la resina, las pruebas de este tipo se efectúan por lo común en tubos de vidrio de un diámetro aproximado de 1" con un lecho de 30" de resina adsorbente. El tubo está provisto de conexiones terminales - para permitir el procesamiento de un flujo descendente normal, un retrolavado para limpieza y la elución con salmuera del material orgánico acumulado.

Ya que el material que se va a remover es coloidal, y la carga de la materia coloidal es influida por el pH, en el proceso de adsorción es necesario controlar cuidadosamente el pH. Es posible - que en un cambio brusco del pH se desorba materia coloidal, resultando la calidad del efluente inferior a la del influente.

Aunque en el agua exista algo de sílice como anión bisilicato (HSiO_3^-) es probable que la mayor parte del tiempo esté presente como un coloide cargado negativamente. Puede removerse por un intercambio de anión en un sistema desmineralizador, lo que sugiere que es iónico; también puede adsorberse sobre hidróxido de hierro e hidróxido de magnesio precipitados, siguiendo un isoterma de adsorción, lo que sugiere que es coloidal.

El único adsorbente efectivo para sílice a las temperaturas típicas de la superficie del agua es hidróxido de hierro producido mediante el empleo de sales de hierro como coagulantes. Se requiere dosis relativamente elevadas para la remoción, y al alcanzar estas dosis se producen sales de sulfato como subproductos. Sin embargo, en algunas circunstancias este es un proceso efectivo.

La sílice también es removida en los procesos de ablandamiento con cal. El hidróxido de magnesio precipitado en el proceso es el principal responsable de esto. El proceso es ineficiente a temperatura ambiente de la superficie del agua, en un ablandador convencional con cal con una hora de retención, aunque se vuelve bastante - significativo a temperaturas de 120 a 140°F, y muy efectivos a las temperaturas de ablandamiento en un proceso en caliente por encima de 220° F. Factores importantes son el tiempo de contacto y la den

sidad del lodo adsorbente.

No hay modo de predecir con precisión la dosis efectiva para la remoción de la sílice, sobre todo cuando se emplea hierro como coagulante, ya que puede ser que se presenten otras reacciones en competencia.

4.6.6 MATERIALES ADSORBENTES

4.6.6.1 ADSORBENTES ALUMINOSOS

- Alumina activada
- CoCl_2 impregnado
- CaCl_2 impregnado
- Alumina catalítica
- Bauxita activada

4.6.6.2 ADSORBENTES SILICEOS

- Aluminosilicatos
- Acidos tratados
- Magnesia
- Tierra "Fuller's"
- Tierra Diatomacea

4.6.6.3 OTROS ADSORBENTES INORGANICOS

- CaSO_4
- Silicato de Calcio
- Silicato de Magnesio

4.6.6.4 CARBONES ADSORBENTES

- Carbón de madera
- Carbón de piedra
- Carbón animal
- Carbón obtenido de hidrocarburos

4.6.6.5 ADSORBENTES ORGANICOS SINTETICOS

- Resinas porosas
- Poliestirenos cruzados
- Fenolicos

Esteres acrílicos

Resinas de aminas—aromáticas

Resinas cuaternarias de aminas-cloradas

Resinas de aminas-cobrizadas

Celulosa

4.7 CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado se prepara partiendo, de lignito residuos de las fábricas de papel, aserrín y materiales semejantes, calentándolos en una retorta cerrada y oxidándolos con aire o con vapor para eliminar los hidrocarburos que interferirían la adsorción de las materias orgánicas. Este material es muy poroso y tiene muchos átomos de carbono con valencias libres. Se puede adquirir bajo diferentes nombre comerciales, en forma granulada de diferentes tamaños o como polvo fino.

Debido a su estructura altamente porosa ya la gran área superficial puede eliminar y retener muchas de las impurezas del agua se le emplea como agente de clorador y para eliminar fenoles. Su empleo en sistemas municipales de agua en forma satisfactoria y económica fué demostrada en E.U. alrededor de 1930. El carbón activado se ha usado con éxito aplicándolo a tanques de almacenamiento y tanques sedimentadores; en éstos últimos la doble función de eliminar materias orgánicas, cloro, sulfuro de hidrógeno y hierro y además obstruir el paso de la luz impidiendo así, el crecimiento de algas y de organismos fotosintéticos. El carbón activado se produce de cualquiera de las múltiples materias carbonosas, la cual se carboniza a unos 600° C. o por oxidación de 800 a 900° C. El carbón activado granular tiene generalmente el tamaño de la arena para filtros de .1 a 1 mm de diámetro. El carbón activado pulverizado se tritura generalmente a un tamaño tal que el 50% pase a través de una criba de 300 hilos por pulgada cuadrada y el 15% por una criba de 200, es decir de 50 a 75 μ m respectivamente.

4.7.1 APLICACION EN POLVO

El carbón activado se emplea muy comunmente en forma de polvo,

que se aplica en uno o más puntos del tratamiento general, como sigue: a) al agua cruda, tan pronto como sea posible al entrar en la instalación; b) en la cámara de mezcla; c) alimentación en dos puntos: una parte en la cámara de mezcla y el resto en el momento de entrar en los filtros, bien a un régimen constante o a una fuerte dosis, inmediatamente después que se ha lavado el filtro, seguido de una dosis más pequeña.

El uso de carbón activado en polvo, es también útil cuando se emplea contra algas y se rocía sobre los espejos de agua a razón de 10 a 100 kg por ha.

4.7.2 DOSIFICACION

La dosificación se efectúa con la maquinaria corriente de alimentación en seco, que se emplea para los productos coagulantes, - con la única diferencia de un dispositivo especial para aire comprimido, que evitará la "inundación", palabra con la que se denomina el deslizamiento incontrolado del polvo de carbón hacia el alimentador. El dosificador debe instalarse en un lugar separado, con objeto de confinar el polvo, y debe ir provisto de una campana en la cual se puedan descargar los sacos de carbón, con un mínimo de pérdida de polvo.

4.7.3 CANTIDAD DE CARBON ACTIVADO

Las dosis que se emplean varían de .24 a 8.4 ppm, siendo las corrientes de 1.2 a 1.8 ppm. Para determinar la dosis de carbón, se debe llevar a cabo pruebas de laboratorio. Cada muestra de agua debe tener un volumen de 20 litros aproximadamente y el volumen en cada porción de prueba debe ser de 1 lt más o menos. La primera dosis adoptada para el trabajo en la planta, por lo general, debe ser la mitad de la indicada por las pruebas de laboratorio. Sin embargo, si el carbón no ha sido utilizado con anterioridad en la planta y las unidades no han sido sembradas, la dosis para la planta debe ser la indicada por las pruebas.

4.7.4 FILTROS DE CARBON ACTIVADO Y SU APLICACION

En filtros de gravedad se emplea en su forma granulada. Se

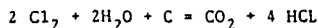
utiliza un lecho de unos 90 cms de espesor constituido por gránulos de carbón entre los números de malla 4 a 12. El soporte lo constituyen un conjunto de capas de grava de un espesor total de 35 cms y tamaños graduales desde 3 mm a 4 cms. Los filtros de gravedad se construyen y funcionan de igual modo que los filtros de arena rápidos y se dispone igualmente el lavado por contracorriente. Los filtros de presión se construyen del modo normal, a excepción de que el tanque interior debe estar protegido contra la corrosión electro-lítica.

Es necesario tener la precaución de eliminar del agua toda la materia que puede llevar en suspensión, antes de que entre al filtro de carbón activado. Con el tiempo el carbón llega al límite de su poder de adsorción y tiene que regenerarse. Esta regeneración puede efectuarse en las instalaciones de los fabricantes o también puede conseguirse insuflando vapor vivo en el lecho a través de tuberías dispuestas en la grava de soporte. La regeneración puede practicarse un número indefinido de veces y su frecuencia dependerá de la calidad del agua y puede variar de 3 meses a un año.

En la industria de las bebidas los filtros de carbón activado suelen seguir en el acondicionamiento del agua luego de pasar por ablandadores con cal.

Los sólidos acumulados requieren retrolavado frecuente de los filtros. La densidad del carbón es sólo de 25 a 30 lb/FT³, de modo que las velocidades de retrolavado deberán ser bajas. Esto limita la limpieza efectiva, por lo cual el agua abastecida al lecho de carbón debería estar clara.

No solo los contaminantes orgánicos son removidos del agua, sino también el cloro residual, cuya eliminación se efectúa mediante la reacción:



En esta reacción, 1 mg/lt, Cl₂ reduce la alcalinidad del agua alrededor de 1.5 mg/l (como CaCO₃) por la producción de HCL.

En la industria de las bebidas, la mayor parte de las plantas embotelladoras se hallan bajo un acuerdo, que requiere instalaciones de tratamiento del agua para reducir la dureza y la alcalinidad, incluyendo a menudo ablandamiento con cal en frío. Con fre-

cuencia se aplican altas dosis de cloro para asegurar una esterilización completa. De no removerse el cloro residual, destruiría alguno de los materiales orgánicos empleados. En la industria cervecera y en las destiladoras, el cloro libre sería indeseable para el proceso de fermentación. Así, para estas operaciones, al filtro de carbón es ideal para el desclorado. Ya que el carbón operará durante largos períodos antes de que se agote. En ocasiones es más práctico reemplazar el lecho de carbón con material nuevo que regenerarlo.

La materia orgánica en el agua puede ocasionar ensuciamiento permanente de las resinas de aniones empleadas en el proceso de desmineralización; el agua proporcionada a los desmineralizadores, suele haber recibido un tratamiento previo de varios pasos, de manera que la aplicación de filtros de carbón activado previa a la desmineralización es muy práctica ya que el agua está clara y la carga orgánica es razonablemente baja. Ya que el cloro puede dañar las resinas de intercambio de iones, el carbón tiene las mismas ventajas en el tratamiento previo del agua tanto como para desmineralización como para las operaciones en las plantas embotelladoras, pues desclorará el agua y removerá la materia orgánica. Se ha notado que la regeneración no es la mejor economía siendo mejor el reemplazo. El agotamiento del carbón puede determinarse midiendo la materia orgánica en el agua tratada.

4.7.5 REMOCION MASIVA DE MATERIA ORGANICA MEDIANTE CARBON ACTIVADO

La remoción de materia orgánica del agua es un uso especial al que se puede destinar al carbón activado. La mayor parte de las plantas de tratamiento de aguas utilizadas de las grandes industrias (cuando existen dichas plantas), que descargan directamente a las corrientes acuíferas remueven previamente la materia orgánica a través de procesos con cultivos de bacterias. Las bacterias tienen sus preferencias alimenticias y aquellos materiales que no son digeridos con facilidad, llamados organismos refractarios no son consumidos por las bacterias. El carbón activado tiene la capacidad de adsorber muchos de los materiales refractarios que no pueden ser digeridos económicamente en un sistema biológico.

El carbón concentra la fuente de alimento de manera que colonias de bacterias pegadas a esta concentración pueden convertir de manera más eficiente el alimento orgánico a biomasa o hasta CO_2 .

Ya que el contenido orgánico de las aguas de desecho puede -- ser de magnitud mayor en varias veces al del agua dulce, el aspecto económico del tratamiento por carbón de las aguas de desecho es en gran medida distinta al del agua dulce. Es esencial que el sistema de carbón se diseñe para ser regenerado térmicamente. En tales sistemas, el carbón puede recoger de .2 a .4 Kg. de materia orgánica por cada Kg. de su propio peso antes de requerir regeneración. Aproximadamente el 5% del carbón adsorbente se pierde en cada regeneración, la evaluación económica del proceso puede hacerse mediante la operación de plantas piloto.

Cuando se emplean lechos de carbón para pulir el efluente de un sistema biológico, la reducción por el sistema biológico del contenido orgánico a niveles que se encuentra en el intervalo de 10 a 20 mg/lit de material orgánico como D.B.O. puede permitir la institución de filtros convencionales con carbón activado y flujo descendente sin embargo, donde pueda requerirse que el carbón produce un efluente de alta calidad con una concentración relativamente alta de materia orgánica en el influente, es deseable una operación a -- contracorriente, ya que el efluente final que abandona el lecho de carbón estará en contacto con el carbón más fresco.

La columna de carbón es una columna empacada de flujo ascendente cuyo lecho tiene una profundidad de unos 14' (4.2m) y un tiempo de residencia de alrededor de 20 minutos. En la operación de cada columna de este tipo se regeneran unos 100 kg. de carbón por cada 4000 M³ de agua tratada.

El carbón activado es capaz de remover muchos materiales orgánicos que no son biodegradables, como en las aguas de desecho de una Refinería.

4.8 SEPARACION POR MEDIO DE MEMBRANA

El uso de membranas semipermeables es un añadido comparativamente nuevo a la tecnología de la renovación o purificación del -- agua. Puesto que se perfeccionan estas membranas y las técnicas de

sus aplicaciones pueden buscar ejemplos en la naturaleza de membranas semipermeables que lleven a cabo separaciones acuosas en tejidos tanto animales como vegetales. En cierto sentido, en los dispositivos de membrana sintética se está copiando lo que sucede en muchos sistemas naturales: las raíces y el duramen de los árboles, y los riñones y los intestinos delgados de los animales emplean membranas para la transferencia de nutrientes y alimento a las células y para la eliminación de los productos de desecho.

En la purificación mediante la separación por membrana, el agua pasa a través de una membrana en virtud de una fuerza impulsora, dejando atrás alguna porción de sus impurezas originales como un concentrado. El tipo de membrana o barrera del agua determinan la cantidad de impurezas eliminada.

En el pasado, los problemas de ensuciamiento o degradación de la membrana y de disposición de los concentrados hicieron que los costos fueran relativamente elevados y que la aplicación de sistemas de membrana se limitara a situaciones especiales, como son los casos en que las impurezas removidas tengan valor comercial. Más recientemente, las mejoras en las membranas y en la tecnología de la aplicación y los límites más estrictos de la descarga en el ambiente han hecho que resulte práctica la separación por membrana.

Las membranas semipermeables permiten el paso libre del agua pero no de las sustancias disueltas.

4.8.1 FILTRACION

En el proceso más simple de separación por membrana ésta actúa como una barrera porosa para la filtración. El agua es forzada a pasar a través de la membrana por un diferencial de presión a través de ella. Los poros en la membrana pueden ser bastantes grandes, en general de 0.1 micra o mayores. Cuando la membrana se usa como un dispositivo analítico para detectar sólidos suspendidos en una muestra de agua se emplea por lo común un poro de 0.45 micras. La membrana puede hacerse de diversos materiales, como acetato de celulosa. El número de poros por unidad de área y su forma o configuración pueden variar en gran manera, y en esto influye la velocidad de producción y la calidad. También son factores importantes la composición de la membrana y su estructura molecular.

En la filtración los sólidos suspendidos son removidos sobre la superficie de la membrana. Si los sólidos suspendidos son viscosos o de fácil compresión en la superficie la membrana puede llegar a obstruirse tanto como cualquier otro medio de filtrado, y las velocidades de filtración pueden reducirse a niveles de poco uso práctico; entonces debe detenerse el proceso y puede requerirse el reemplazo de la membrana. Rara vez pueden limpiarse las membranas por una limpieza con agua. Las membranas empleadas en la filtración remueven poco material coloidal o disuelto. La eficiencia con la cual son removidos los sólidos suspendidos muy finos depende primariamente del tamaño y la forma de los poros y del tipo de torta del filtro que se desarrolle durante la filtración.

Durante la filtración puede presentarse una acción que va más allá de la que realiza el tipo de cedazo. La membrana puede hincharse y modificar sus características, y puede haber interacciones moleculares entre la membrana y ciertas sustancias solubles o coloidales contenidas en el agua que se está filtrando.

Como con otros procesos de filtración de agua, la velocidad de filtración varía directamente con la temperatura (inversamente con la viscosidad), y directamente con la diferencial de presión a través de la membrana.

Para que la filtración por membrana sea prácticamente útil deberá eliminarse el grueso de los sólidos suspendidos antes de la unidad de membrana.

La membrana puede procesar más de 1,000 litros/cm² (250,000 gal/pie²) antes de atascarse, mientras que pasaría menos de un litro por cm² (250 gal/pie²) si se empleará para filtrar agua de muchos de los abastecimientos de agua municipal.

4.8.2 ULTRAFILTRACION

A medida que se hace más pequeño el tamaño del poro de la membrana, o sea, muy por debajo de 0.1 micra, aumenta sustancialmente la diferencia de presión requerida por producir velocidades aceptables de flujo. Los procesos que emplean membranas de poro pequeño y presiones elevadas, llamados de ultrafiltración (UF), requieren por lo general de diferencias de presión que exceden los 20 psig.

(1.4 Kg/cm²). El propósito de emplear poro de tamaño más pequeño es eliminar del agua coloides y ciertos materiales orgánicos de peso molecular elevado. Sin embargo, este tamaño pequeño de poro hace a las membranas aún más susceptibles al atascamiento que las membranas de filtrado. En ciertas configuraciones, las membranas de UF pueden retrolavarse con agua para resolver este problema. Las membranas de UF pueden dañarse permanentemente por el calor o presión excesivos causando que baje drásticamente el flujo.

Más pronunciado que en la filtración directa, el carácter y la forma de la membrana de UF es crítica respecto a los resultados obtenidos. Para obtener velocidades aceptables de flujo la membrana semipermeable de UF tiene por lo común una piel extremadamente fina sobre la superficie de un sustrato más poroso y más grueso. Se dice que este tipo de membrana es anisotrópica. El espesor de la piel puede ser sólo de 1 a 5 micras mientras que el espesor del sustrato puede ser de 25 a 50 micras. Por lo común es necesario un soporte mecánico adicional. A menudo la piel y el sustrato son del mismo material, y la piel es modificada sobre la superficie del grueso de la membrana tratando la superficie en forma térmica mecánica, molecular o por alguna combinación de ellas.

Además del posible atascamiento de las membranas de UF, la polarización de la concentración puede afectar también las velocidades de flujo. Este fenómeno, que se presenta en la capa de agua adyacente a la superficie de la membrana, es el resultado de un aumento local en la concentración de las impurezas rechazadas. Esto aumenta la densidad de la solución y la viscosidad en la superficie de la membrana, lo cual reduce la velocidad de flujo. Se han desarrollado varias técnicas de diseño para reducir la polarización de concentración.

Estas unidades se emplean en la industria automotriz para filtrar continuamente una pintura electrodepositadora del agua de lavado, recuperando la pintura y previniendo una elevación de salinidad. También se emplea para filtrar la pintura misma del tanque de inmersión para mantener la densidad a medida que la pintura es agotada del baño de pintura.

4.8.3 DIALISIS

El procedimiento conocido como diálisis, utiliza el hecho de que las sustancias en disolución, siempre que las moléculas no sean demasiado grandes, pueden pasar a través de una membrana mientras que las partículas coloidales quedan retenidas; en el proceso de difusión y adsorción de las partículas grandes y pequeñas tienen un papel importante.

Aunque la diálisis rara vez se usa para purificar o renovar el agua, es un proceso de separación por membrana que se emplea para regenerar soluciones químicas fuertes, con objeto de evitar que sus desechos se conviertan en problema.

En la diálisis simple, la fuerza impulsora es el gradiente de la concentración a través de la membrana. La membrana tiene poros a través de los cuales puede difundirse el soluto. Los iones de gran radio iónico se difunden más lentamente que aquellos de radio más pequeño, de modo que es posible una separación de especies iónicas. Los solutos o coloidales que son demasiado grandes para pasar a través de la membrana son retenidos en el concentrado. Puede pasar alguna cantidad de agua en dirección opuesta al flujo de iones en virtud de la presión osmótica.

Aunque casi cualquier membrana semipermeable podría emplearse en la diálisis, las membranas más utilizadas están hechas de un tipo de celofán hidratado. Este ha sido alterado por medios químicos para producir las propiedades superficiales y los tamaños de poros que son necesarios en la separación específica. Dichas membranas pueden también ser estiradas para variar las velocidades de difusión. La selectividad de una membrana está relacionada en gran medida con el tamaño de un poro. Todos los problemas discutidos en relación con otros procesos de separación por membrana también son inherentes a la diálisis.

4.8.4 ELECTRODIALISIS

En la electrodiálisis, se facilita la eliminación de los electrolitos, mediante un campo eléctrico, la disolución coloidal se coloca entre las membranas dializadoras, con agua pura en cada uno de los compartimientos, uno a cada lado. Por medio de electrodos

colocados en estos compartimientos, se aplica una diferencia de potencial que provoca la emigración de los iones fuera de la disolución coloidal.

Las membranas semipermeables que tienen propiedades de intercambio de anión y de catión, son apiladas en forma alternada en una prensa con pasillos angostos de agua entre ellas, cuando se aplica una corriente directa a los electrodos en cada lado de las membranas apiladas, los aniones se desplazan hacia el ánodo y los cationes hacia el cátodo. Ya que la membrana de intercambio de cationes sólo permite el paso de los cationes y la membrana de intercambio de aniones el paso de aniones, la alternación de membranas genera concentración y dilución en los compartimientos alternados del apilamiento.

La velocidad de flujo a través de estos compartimientos pequeños o canales, el número de pilas y la magnitud de la fuerza impulsora o de la corriente eléctrica aplicada, determinan la cantidad de sal (cationes más aniones) removidos del agua.

Para reducir a un mínimo los requerimientos de corriente, se hace que estos canales sean lo más estrechos posible. A medida que la concentración de la sal disminuye en los pasillos del agua producto, disminuye su conductividad eléctrica y aumenta la energía eléctrica necesaria para remover la sal adicional. Si se aplica una corriente demasiado grande, se producirá cierta electrólisis (formación de H_2 y O_2 y se reducirá la eficiencia global.

La polarización de la concentración es aún más limitante en la electrodiálisis que en cualquier otro proceso de separación por membrana. La polarización de la concentración provoca el desarrollo de un potencial de membrana que se opone al potencial aplicado. La polarización de la concentración y la separación de agua, mencionada antes, aumentan la tendencia a la formación de incrustaciones a medida que las concentraciones de calcio en los canales de salmuera exceden la solubilidad del carbonato de calcio o del sulfato de calcio, por ejemplo.

Es más probable que se formen precipitados de carbonato de calcio o de hidróxido de magnesio en la entrecara del concentrado y la membrana de intercambio de aniones debido a que ahí se tiene un pH

(iones OH^-) mayor. El desarrollo de incrustaciones o de depósitos en la superficie de la membrana reduce la transferencia de iones y aumenta los requerimientos de corriente.

Las mejoras en los diseños de las membranas y de los apilamientos han ayudado a reducir a un mínimo los efectos de la polarización de la concentración. Se han diseñado métodos para estabilizar las tendencias a la formación de incrustaciones y para la limpieza sobre la marcha de los apilamientos con objeto de posponer las paralizaciones. Se han diseñado celdas especiales para aplicaciones individuales al intentar un aumento en la seguridad y una reducción en los costos.

La electrodiálisis se emplea en la producción de agua potable a partir de agua salobre. Las plantas municipales más grandes produce más de 3.5 mgd ($10 \text{ m}^3/\text{min.}$)

4.8.5 OSMOSIS INVERSA

La ósmosis es el proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana separando una solución más débil; el solvente fluye en la dirección que reducirá la concentración de la solución más fuerte. Puede observarse el flujo de solvente entre los compartimientos de solución a medida que aumenta el volumen del compartimiento que contiene la solución más fuerte. Si estos compartimientos están equipados con columnas reguladoras, el flujo continuará hasta que el nivel en el compartimiento de la solución más fuerte es mayor que el de la más débil por una dimensión que iguala a la presión osmótica.

En la ósmosis inversa (OI), una fuerza impulsora, la presión diferencial a través de la membrana, hace que el agua fluya de la solución más fuerte a la más débil. En consecuencia, la presión requerida puede ser mayor, que la presión osmótica. La presión diferencial es a menudo mayor que 300 psig. (21 kg/cm^2), y depende de las diferencias en concentración. En promedio es alrededor de 10 psi por cada 1,000 mg/lit. Las diferencias están influenciadas por el tipo de membranas que se emplean. En la ósmosis inversa, el transporte de agua a través de la membrana no es el resultado del flujo a través de poros definidos, por lo menos no a través de po

ros como se les concibe de ordinario. Es el resultado de la difusión, una molécula a la vez, a través de vacantes en la estructura molecular del material de la membrana. Las vacantes en polímeros amorfos se encuentran en un estado de flujo, o sea, no se hallan fijas, mientras que en materiales cristalinos las vacantes, son vacíos en la estructura de la red y esencialmente su número, posición y tamaño se encuentran fijos. Las membranas para OI están hechas de polímeros amorfos, aunque por lo común contienen algunas regiones cristalinas o menos amorfas.

La ósmosis inversa ha recibido también el nombre de hiperfiltración, lo cual indica su relación con un proceso de filtración a presión elevada. Sin embargo, no debe confundirse con la ultrafiltración que emplea presiones aplicadas más bajas y diferentes membranas, ya que la ultrafiltración en esencia, no remueve solutos de peso molecular bajo a intermedio, que la ósmosis inversa puede remover aún las especies iónicas de peso molecular bajo.

La remoción o rechazo obtenido de la sal es primordialmente una característica de la membrana semipermeable. Una membrana dada puede rechazar un ión con mayor efectividad que otro; este rechazo puede estar afectado por la presencia de otras especies iónicas en el agua que se está procesando. En general, cuanto mayor sea el flujo de agua a través de un tipo dado de membrana, tanto menor es el rechazo de sal, es decir, tanto menor es la sal retenida en el concentrado y tanto mayor la contaminación del producto. Inversamente, cuanto mayor es la velocidad de rechazo de la sal, tanto menor será el flujo a través de la membrana, siendo igual la presión aplicada. Pueden variarse estas propiedades cambiando el tipo de polímeros empleados y los métodos de manufactura y de procesamiento de las membranas. Como en la electrodiálisis, el potencial por polarización de la concentración, la formación de incrustaciones y el ensuciamiento son consideraciones importantes que deberán tomarse en cuenta en el diseño de las unidades del proceso, con objeto de aprovechar las ventajas que ofrecen los diversos materiales disponibles para las membranas.

4.8.5.1 DISEÑOS MAS COMUNES

Las membranas se forman dentro de tubos se cilindran a partir

4.8.5.2 TIPOS DE MEMBRANAS

Las membranas más ampliamente empleadas en los procesos de ósmosis inversa suelen ser de Triacetato poliamida y celulosa. Sus ventajas y rangos típicos de aplicación son:

	TIPO DE MEMBRANA		
	Fibras huecas triacetato	Fibras huecas poliamida	Acetato Celulosa enrolladas en espiral
Flujo a 400 psi gpd/sq ft	1.5	1.0	15-18
Presión posterior, psi	75	50	0
Intervalo de Ph	4-7.5	4-11	4-6.5
Temperatura máxima, °F	86	85	85
Cl ₂ , máximo	1.0	0.1	1.0
Bioresistencia	Bueno	Excelente	Regular
Retrolavado	Inefectivo	Inefectivo	Efectivo

4.8.5.3 USOS DE LA OSMOSIS INVERSA

Los equipos de ósmosis inversa están encontrando una aplicación amplia en la desalación de agua salada para uso potable o industrial, en el tratamiento previo de agua dulce antes de los desmineralizadores para reducir el consumo de compuestos acondicionados y reducir a un mínimo la producción desechos fuertes en el tratamiento de aguas utilizadas. Actualmente las mayores instalaciones que emplean OSMOSIS inversa tienen capacidades de 15 m³/min.

En el empleo de la OSMOSIS Inversa para desmineralización pueden obtenerse resultados como el siguiente.

	CONSTITUYENTE, mg/l	
	INFLUENTE	EFLUENTE
Dureza como CaCO ₃	380	20
Alcalinidad, como CaCO ₃	215	16
Electrolitos totales como CaCO ₃	445	29

Sílice como SiO ₂	25	3
PH	7.2	6.0
CO ₂	25	25

La Osmosis Inversa tiene también aplicación en el tratamiento de aguas utilizadas en fábricas de pulpa de papel se denomina Permeado a el efluente clarificado que sale del equipo de Osmosis Inversa.

Para fabricas de pulpa de papel, resultados típicos, pueden ser los siguientes:

<u>CONSTITUYENTES</u> (en mg/l)	<u>ALIMENTACION</u>	<u>PERMEADO</u>	<u>CONCENTRADO</u>
Sólidos solubles	54,400	372	66,900
Sodio	6,500	62	8,000
DBO	13,900	1,005	17,600
Color	112,500	65	146,800
pH	5.8	4.1	-
	(5.5-6.0)	(4.0-4.8)	-

4.9 LODOS ACTIVADOS

Uno de los más importantes métodos de tratamiento de aguas residuales, es el que emplea los lodos activados. Tal como lo indica la propia denominación, emplea un barro o lodo, que por aereación y agitación se ha vuelto floculento y ha acumulado un considerable contenido de bacterias aerobias; este lodo se añade al agua residual, y la mezcla se agita en presencia de oxígeno, y finalmente se deja sedimentar. El líquido decantado constituye el efluente, y el lodo, en parte, se recircula para volverlo a emplear, y en parte se evacua. Si bien al principio se consideró, que el método era más aplicable a las instalaciones grandes que a las pequeñas, una mejor comprensión de los principios en que se basa, ha hecho que tuviera éxito en muchas instalaciones que sirven a pequeñas poblaciones.

Si se airea una agua residual, mecánicamente o por medio de aire a presión, mezclándole lodo previamente aireado, y el líquido

mezclado y aireado se deja sedimentar, se encontrará que se habrá conseguido mucho más que con sólo la aireación. El lodo, que es ligero y flocculento, sirve de vehículo para las bacterias aerobias que oxidan la materia orgánica, tanto en solución como en suspensión, y al moverse rápidamente en el agua residual, absorbe la materia coloidal y en suspensión. Los tiempos de aireación son más largos que con la simple aireación, por lo general de 4 a 8 horas, en parte para obtener un mejor efluente y en parte para mantener los lodos en buenas condiciones.

Después de la aireación, la mezcla de las aguas residuales y los lodos denominado generalmente "líquido de mezcla" se pasa a un tanque de sedimentación final, o secundario, en donde sedimenta el lodo y se decanta el efluente clarificado. El lodo se devuelve de un modo continuo a la entrada del tanque de aireación. Sin embargo, se produce más lodo del que se necesita para la acción deseada en el tanque de aireación, y por lo tanto, parte del mismo se desecha. En algunas instalaciones se dá al lodo activado una posterior aireación durante el curso del retorno.

En apariencia, los lodos activados, son ligeros, presentándose en forma de capas de color pardo negruzco, que se sedimentan rápidamente. Observados al microscopio, se ve que la parte gelatinosa de los mismos contiene gran número de bacterias filamentosas unicelulares y de algas, y que sobre la masa se desplazan y se alimentan numerosos protozoarios y algunos metazoarios.

Los protozoarios ingieren y asimilan materia orgánica del líquido, y por ello sus propios cuerpos y productos finales, contribuyen a la formación del lodo.

También se hallan presentes y son importantes las bacterias gelatinizantes. El lodo debe tener un suministro de material nutritivo para conservar sus organismos vivientes y suficiente oxígeno disuelto en la mezcla líquido-barro. El suministro de oxígeno puede hacerse haciendo burbujear aire a través del líquido mezclado o por la superficie del tanque si se efectúa una adecuada agitación.

Durante la aireación del líquido de mezcla tienen lugar dos procesos: La absorción de los sólidos y la clarificación: ésta última tiene lugar después de la sedimentación y requiere de 15 a 45

minutos de contacto con los lodos, luego tiene lugar la oxidación biológica del material adsorbido, generalmente a un régimen en los primeros momentos en que los lodos penetran en el agua, aminorándose luego gradualmente durante 2 a 5 horas, y continuando finalmente durante un largo período a un régimen más o menos uniforme. El correcto funcionamiento de una instalación requiere el equilibrio entre ambos procesos, de modo que si la acción biológica procede con demasiada rapidez, los barros se vuelven muy densos, pero se rompen en partículas muy pequeñas que no sedimentan y por ello, dejan de producir un efluente más limpio y la nitrificación en el efluente puede ser muy elevada.

Si por el contrario, la acción biológica se retrasa con relación a la absorción, el flóculo se hace muy voluminoso y ligero, no se posa en el tanque de sedimentación final, y el efluente tampoco queda bien clarificado. Por todo lo anterior para un óptimo funcionamiento de los lodos activados, se deben de equilibrar los procesos de adsorción y clarificación.

4.9.2 RECIRCULACION Y AIREACION DE LODOS

El tiempo de aireación, cuando esto se practica por difusión varía desde 4 hasta 8 horas, siendo por lo general de 6 horas. Un método más aconsejable de llegar a la estimación del tanque, se basa en la D.B.O., de las aguas residuales. Puede darse la superaireación del líquido de mezcla, y cuando ocurre esto, los lodos tienen a perder su efectividad, probablemente debido a la falta de elementos nutritivos para los organismos.

El mayor número de unidades de aireación y el control automático de válvulas, dá por resultado un mejor control en la aireación de los lodos. Una medida en los tanques para airear lodo, es la clásica, basada en 1.88 m^3 por kilogramo de D.B.O., en el agua entrante en el tanque sin contar el lodo recirculado. Otro criterio o modo de proceder, denominado método racional, consiste en fijar la carga diaria media de D.B.O., del agua residual, de modo que no exceda de 50 Kg por 100 Kg de sólidos en suspensión en el sistema de aireación, lo cual debe llevar a una reducción de un 90% de la carga de D.B.O. Mayores cargas llevarán a reducciones menores, y

es más probable la formación de un lodo ligero y blando. En los procesos modificados de aireación de lodos, se han empleado cargas de más de 100 Kg y a algunos casos hasta de 450 Kg por cada 100 Kg de sólidos de los barros. Con cargas menores de 25 Kg, cabe esperar una elevada nitrificación. Para volúmenes de aguas residuales iguales, menores a 140 m³ diarios provenientes de viviendas, oficinas y comercios, se recomienda que existan cuando menos 2 tanques.

Los consumos de aire oscilan entre 3 a 11.2 litros de aire a presión atmosférica por litro de agua residual, la cantidad de aire empleada puede relacionarse también con la D.B.O de 5 días a satisfacer, y puede variar entre 46 y 62 m³ por kilogramo, que equivale a unos 6.3 litros de aire por litro de agua residual para satisfacer una D.B.O. de 100 mg por litro de agua entrante al tanque. La cantidad de lodos recirculados hacia el tanque, es del 10 al 25% respecto del volumen del líquido de la mezcla. Por lo general, los sólidos en suspensión del líquido de mezcla se mantendrán entre los 1200 a 3000 mg/l, en los tanques que trabajan por difusión de aire, con una reciente tendencia práctica a mantenerlos a 2500 mg/l; pero, en ocasiones pueden llegar hasta 6000 mg/lt. En los tanques de aireación mecánica se recomienda evitar concentración mayor a los 1200 mg/lt. Las altas concentraciones de lodos en los líquidos de mezcla, dan un tiempo de retención más largo de los sólidos en la instalación. La edad de los lodos en días puede expresarse como la relación entre los sólidos secos del líquido de mezcla y los sólidos secos en suspensión dados diariamente al tanque de aireación con la aguas residuales entrante. Una operación óptima de las plantas de edades de lodo de 3 a 5 días. Los lodos de más de 4 días presentan una tendencia al desmoronamiento de los flóculos y el efluente resulta de pobre calidad; en cambio los de mucho menos de 3 días es posible que den al principio una buena clarificación, pero pierden gradualmente sus cualidades de sedimentación, y es mucho el lodo que sale con el efluente. La edad del lodo afecta directamente el contenido de sólidos volátiles del líquido de la mezcla y también es de esperar que cuanto menor sea el contenido de sólidos volátiles y mayor el de cenizas de los sólidos del líquido de mezcla, tanto menor será la cantidad de lodos en exceso. Se ha obser

vado que los sólidos del líquido de la mezcla con un contenido de ceniza del 35 al 40% sedimentan muy bien. Un índice de que la aireación procede satisfactoriamente es la presencia de oxígeno disuelto en el líquido de la mezcla, el cual en los tanques que trabajan por difusión, que son relativamente largos y estrechos, debe aparecer pronto e ir aumentando hacia la salida hasta por lo menos 2 mg/lt. Es común alcanzar 3 mg por litro o más, en el efluente del tanque.

Diversos estudios indican que el consumo de oxígeno por parte del líquido de mezcla durante un tiempo de aireación de 6 horas será de alrededor del 50% durante las dos primeras horas, de un 30% en las 2 horas siguientes, y de un 20% en las dos restantes.

El hecho de que sólo una muy pequeña proporción, quizás el 5% del oxígeno aplicado con el aire difundido se emplea para la oxidación, así como el haber reconocido que en la superficie de la solución se toma mucho oxígeno, ha llevado al desarrollo de diversos dispositivos mecánicos de aireación que tienen por objeto la producción de turbulencia superficial y la provocación de la circulación del líquido de mezcla dentro del tanque. En la aireación mecánica de lodos suelen emplearse tiempos de unas 8 horas y mayores así como menores proporciones de lodo recirculado, y cantidades de sólidos en suspensión del líquido de mezcla entre 500 y 1200 mg/litro.

4.9.3 FUNCIONAMIENTO Y CONTROL

Las instalaciones de lodos activados exigen una constante y cuidadosa vigilancia. Se precisan de 2 a 4 semanas de trabajo normales para preparar un lodo activado y durante este período, se recirculará todo el lodo y deberá emplearse mayor cantidad de aire. Se deberá observar el óptimo porcentaje de lodo activado que debe mantenerse para conseguir los mejores resultados, así como el porcentaje de sólidos en suspensión. Es necesario una verificación frecuente del contenido de lodo de la mezcla líquida para regular la proporción del lodo que retorna y el que se elimina. El barro de las instalaciones de lodos activados a menudo pierde propiedades y se estropea, dando por resultado efluentes pobres. El deterioro de los barros se caracteriza frecuentemente por la presencia de un

lodo ligero y blando o esponjoso que no sedimenta bien. Dicho lodo se dice que tiene tendencia al abultamiento y tiene un elevado índice de lodo, es decir, mucho lodo de poco peso por unidad de volumen. En ocasiones este elevado índice de lodo, puede ir acompañado de la presencia de un hongo filamentoso llamado Sphaerotilus. El empleo de cloro o la adición de cal hasta obtener un pH de 8 ó más, puede ser valioso cuando se presenta el Sphaerotilus. El contenido de sólidos del líquido de mezcla en todas las instalaciones que emplean la difusión de aire se mantiene generalmente entre 1500 y 2000 mg/lt. En las instalaciones de aireación mecánica, parecen más preferibles los 1000 mg/lt. El índice de lodo llamado también índice de volumen del lodo, es el volumen en cm que ocupa un gramo de lodo seco después de 30 minutos de reposo, la muestra se recoge a la salida del tanque de aireación, se deja en reposo durante 30 minutos, y se anota el volumen en tanto por ciento ocupado por el barro. El índice de lodo se calcula dividiendo el resultado del ensayo de sedimentación en porcentaje, por el resultado de la cantidad de sólidos en suspensión, expresada también en tanto por ciento. Los índices de lodo normales, varían entre 55 y 150 en las instalaciones de aireación por difusión y entre 200 y 300 en las de aireación mecánica. Cuando éste índice empieza a aumentar en una instalación dada, es de esperar el abultamiento del barro y la producción de un efluente de baja calidad.

Los ensayos de verificación en el líquido de mezcla deben comprender los siguientes puntos:

- a) Sólidos depositados a la entrada y a la salida.
- b) Sólidos en suspensión
- c) Oxígeno disuelto en los líquidos limpios obtenidos después del reposo de las muestras recogidas en varios puntos del tanque de aireación.

Los ensayos de los efluentes clarificados deben comprender -- D.B.O., estabilidad, sólidos en suspensión de una muestra promedio y oxígeno disuelto. También en el lodo en recirculación deben determinarse los sólidos en suspensión. Se tiene que recircular lodo suficiente para mantener en el líquido de mezcla el contenido necesario de sólidos, lo cual dependerá del índice de lodo de los

barros de retorno. Un método para el cálculo de la recirculación de lodos necesaria como porcentaje de la cantidad de aguas residuales supone que las cantidades de barros de desecho, de pérdida de sólidos por oxidación, y de sólidos brutos entrantes, son despreciables. La cantidad de sólidos en el líquido de mezcla es casi igual a la del barro de retorno. El equilibrio del lodo se expresa por:

$$(a + b) x = by$$

en la que "a" es el caudal de aguas residuales en m³ diarios, "b" es el caudal de lodos de recirculación en m³ diarios, x es el tanto por ciento de sólidos del líquido de mezcla, "y" es el tanto por ciento de sólidos del lodo de retorno o los sólidos sedimentados en el tanque. Si el índice de lodo del líquido de mezcla se representa por z, entonces $y = 100/z$. El tanto por ciento en volumen del lodo de recirculación, m, puede expresarse por la fórmula:

$$m = 100 b/a \quad z = \frac{m}{(+ .01 m) x}$$

La falta de equilibrio entre los procesos de absorción y de oxidación pueden ser el origen de problemas de las instalaciones. Son tres las condiciones o circunstancias bajo las cuales la oxidación puede proceder con demasiada rapidez:

- a) La superaireación que se da a aquellas instalaciones que -- tienen una capacidad de suministro de aire excesiva.
- b) Un tiempo de aireación demasiado largo.
- c) La deficiencia de material nutritivo para los organismos del lodo.

El retraso en la oxidación quizá sea un problema más corriente que la superaireación y puede estar originado por múltiples causas entre las que destacan:

a) Suministro de oxígeno insuficiente.- El suministro inadecuado de aire no proporcionará la cantidad de oxígeno necesaria para que la gran cantidad de organismos presentes puedan seguir sus procesos vitales. Debe haber un exceso de oxígeno con respecto a esas necesidades.

Este exceso debe ser de 1 o 2 mg/l por lo menos, y si no lo hay, puede aumentarse el suministro de aire o; lo que es más corriente, es reducir la cantidad de lodo en el líquido de mezcla.

b) INSUFICIENTE TIEMPO DE AIREACION.- Para la oxidación del material absorbido se necesita un mínimo de tiempo, y si no se dispone del mismo, el proceso no se desarrollará correctamente. El establecimiento de cortocircuitos puede ser una causa de la insuficiente aireación, la colocación de pantallas en los tanques puede resolver el problema.

c) EL EXCESO DE ANHIDRIDO CARBONICO.- El anhídrido carbónico es uno de los productos finales de la oxidación biológica, y como tal puede producirse tan rápidamente que la aireación no lo elimine en proporción suficiente; por lo que puede interferir las actividades biológicas. Cuando esto ocurre, la solución puede ser -- aplicar cal. Se siguen 2 sistemas de aplicación.

Puede aplicarse a razón de 6 a 36 Kg por cada 1000 m³ de caudal entre una y cuatro dosificaciones; ó puede realizarse aplicación de modo continuo a razón de 300 a 500 mg/litro hasta que el pH de salida de los tanques de aireación sea 8. Este tratamiento no representa peligro alguno si el pH a las salidas del aireador no excede de 8.8.

d) LODOS O AGUAS RESIDUALES SEPTICOS.- El anhídrido carbónico es también un producto de la acción anaerobia, pero se producen en ésta otros compuestos antagónicos a la oxidación biológica. Este problema puede originarse por la acumulación de barros de las alcantrarrillas, en los canales o en los clarificadores; debido al retorno de grandes cantidades de líquido sobrenadante procedente de los tanques de digestión de lodos hacia los tanques primarios, puede reducirse el envejecimiento de las aguas residuales. Las soluciones consisten en la cloración de las aguas residuales, y cloración parcial del lodo activado de recirculación.

e) EXCESO DE GRASAS.- La excesiva cantidad de grasas o aceite recubrirá las partículas de lodo hasta un punto tal que éstas no entrarán en íntimo contacto con el oxígeno, y, por consiguiente, se retrasa la oxidación. El proceso debe desarrollarse bien con -- contenidos de grasa en los lodos de hasta un 5 ó un 7%, pero ten-

drá efectos desfavorables a partir del 13%, y a un 50% de contenido de grasa los resultados serán casi nulos. Si llega a darse un alto contenido de grasa a las aguas residuales, será preciso aplicar algún método de eliminación de grasas, incluido petróleo.

f) RESIDUOS DE GERMICIDAS Y PLAGICIDAS.- Interfieren en la actividad bacteriológica, si existe exceso de alcalinidad o acidez, es posible neutralizar con ácido o con cal hasta el pH óptimo, el cual es de alrededor de 7 a 7.5, con valores admisibles hasta de 6.4 y 8.0. Si el problema ha sido originado por fenoles y otras sustancias tóxicas, la solución consiste en excluir su entrada a las conducciones. Si estas sustancias no se hallan en concentraciones demasiado altas y su contenido es uniforme, los organismos pueden llegar a habituarse a los mismos.

Una dificultad corriente en las instalaciones de lodos activados es la gran acumulación de espuma en los tanques de aireación. Esto se ha supuesto que es debido al reciente aumento en el empleo de detergentes sintéticos. Existen detergentes sintéticos blandos y duros, de entre los cuales los duros son muy resistentes al desdoblamiento o degradación biológica y son los mayores originadores de la espuma de los tanques de aireación de lodos-aguas residuales. Por otro lado, los jabones, grasas y aceites son antiespumantes y tienden a compensar los efectos producidos por los detergentes duros; en tanto estas sustancias antiespumantes no sean totalmente degradadas biológicamente. Entonces su ausencia permite que los agentes tensoactivos duros originen gran cantidad de espuma. Las concentraciones elevadas de grasa y de jabones, así como algunos otros materiales orgánicos en la espuma disminuye la transferencia o difusión del oxígeno en la unión aire-agua. Las soluciones a éste problema son el rociado de la espuma con agua residual ya sedimentada y el empleo de productos comerciales antiespumantes, los cuales se aplican de modo continuo o intermitente al flujo entrante a los tanques y rociándolos sobre la superficie de el líquido -- que se almacena en estos. Se ha observado que los aditivos comerciales aumentan la cantidad de materiales sedimentables de la mezcla.

El proceso de los lodos activados tiene la ventaja de requerir poca extensión de terreno y muy poca altura manométrica. Este proceso puede producir efluentes de alta calidad. La reducción de los sólidos en suspensión, de la D.B.O., y de los colibacilos puede ser del 85 al 95, 80 al 95, y 90 al 95, respectivamente.

No se presentarán peligros de desprendimiento de olores y permite ahorros. El tiempo requerido para preparar un lodo activado y los costos de los volúmenes de energía empleados, son los obstáculos a minimizar en los procedimientos con lodos activados. Las ventajas del proceso, es la posible aparición de abultamiento y exceso de líquidos sobrenadantes. Como en otro tipo de procedimientos industriales, su uso es recomendable para grandes volúmenes de agua a tratar; en el caso de volúmenes pequeños la mejor opción es emplear otro proceso, pues a bajos caudales, se eleva considerablemente el costo por m^3 de agua tratada. Tanto en plantas pequeñas como grandes, suelen ser considerablemente mayores los costos de operación respecto de los de construcción de la planta, debido a los altos consumos de energía y mantenimiento de los equipos electromecánicos.

4.10 DIGESTION DE LODOS

La digestión del lodo de las aguas, tiene lugar a través de la descomposición de la materia orgánica sólida, la digestión satisfactoria de la materia orgánica, bajo condiciones anaeróbicas, depende de dos grupos distintos de bacterias que viven en armonía en el mismo medio. Uno de estos dos grupos está constituido por organismos saprofiticos que ataca a las substancias orgánicas complejas, como las grasas, los hidratos de carbono, y las proteínas; y las transforman en compuestos orgánicos sencillos. Entre estos organismos saprofiticos, se encuentran las bacterias formadoras de ácidos, -- que producen ácidos grasos de poco peso molecular, como el acético y el propiónico, durante la descomposición del material orgánico, tales ácidos se producen en cantidad suficiente, en algunos casos para abatir el pH hasta un nivel en que toda actividad biológica cesa. El segundo grupo, está constituido por las bacterias formadoras del metano, que son capaces de utilizar los ácidos y otros pro

ductos finales, formados por el primer grupo. Se ha demostrado que los organismos formadores de metano, son sensibles a los cambios en el pH y proliferan dentro de un estrecho margen de pH, comprendido entre 6.5 y 8.0, pero existe la desventaja de que estos organismos no se encuentran en grandes números en el lodo de las aguas negras, ni su actividad reproductora es comparable a la de muchos organismos saprofiticos; en consecuencia, los ácidos orgánicos pueden formarse más rápidamente de lo que la limitada población de formadores de metano puede asimilarlos, y, como resultado, los ácidos acumulados reducen el pH a niveles todavía más desfavorables que los formadores de metano.

Un medio adecuado, requiere un equilibrio entre la población de organismos, el suministro de alimentos, la temperatura, el pH y el acceso a los alimentos. El proceso de la digestión se ha ido mejorando al conocerse mejor las condiciones que influyen en el metabolismo orgánico y al disponerse de mejor equipo y de mejores métodos para regular dichas condiciones. El progreso de las teorías y el conocimiento, junto con la tecnología ha permitido reducir el período de digestión de 30 a 15 días.

La digestión del lodo lo prepara para su posterior evacuación, reduce su volumen, permite la obtención de gases útiles, y mejora las características del lodo para poder emplear este como fertilizante.

4.10.1 ASPECTOS BACTERIOLOGICO-TERMODINAMICOS

La temperatura óptima más práctica para la digestión del lodo, llamada margen mesofílico, está entre 32 y 37° C, y preferentemente alrededor de 35° C.

La acción de las bacterias disminuye casi proporcionalmente -- con la temperatura, por debajo de 32° C, hasta cesar prácticamente a los 10° C.

Cuando la temperatura sube por encima de los 37°, hay una ligera reducción en la velocidad de incremento de la actividad bacteriana, hasta que al llegar a los 41° C, empieza a incrementarse para alcanzar otro óptimo a los 53° C, que se denomina temperatura termofílica.

4.10.1.1 DISEÑO DE TANQUES

Las variables que han de tomarse en cuenta para establecer la temperatura de funcionamiento del tanque son:

- a) Comparación entre el costo para proporcionar mayor capacidad para la digestión a menor temperatura, y el que se necesita para el equipo adicional destinado al calentamiento;
- b) La capacidad del tipo de tanque elegido, para calentarse y para retener el calor;
- c) El método de calefacción y la velocidad de transmisión del calor;
- d) El efecto de la mayor temperatura del agua respecto a la del lodo;
- e) El efecto sobre el balance de calor, de la concentración de sólidos en el lodo del tanque;
- f) La pérdida de calor con el licor de lodo; y
- g) El efecto de un mayor desprendimiento de gas y su influencia en la formación de espuma.

4.10.2 VARIABLES PRIMARIAS DE LA DIGESTION

Temperatura, tiempo, abastecimiento de alimentos, flujo del lodo en el tanque, pH, contenido de ácidos volátiles, compuestos adicionados, calidad del agua empleada, cantidad de cobre, y cantidad de fluoruros.

Los índices de la actividad digestiva son:

- 1) Cantidad y calidad de gas producido;
- 2) Sólidos totales, volátiles y fijos;
- 3) Demanda bioquímica de O₂;
- 4) Acidez y pH;
- 5) Ácidos volátiles; y
- 6) Grasas presentes.

La cuantía de la digestión puede expresarse por la ecuación:

$$P = \left(1 - \frac{(100 - R) D}{(100 - D) R} \right) \times 100$$

en donde:

P = Reducción porcentual de materia volátil

R = Porcentaje de materia volátil en el lodo bruto

D = Porcentaje de materia volátil en el lodo digerido

Se habla de condiciones eficientes, cuando:

- 1) El contenido de metano del gas del digester está entre 55 y el 75%, y la suma del metano y del anhídrido carbónico constituye aproximadamente el 95% del gas producido.
- 2) Los sólidos representan aproximadamente un 15%, siendo óptimo un contenido del 8% y la materia volátil es aproximadamente un 50% de los sólidos.
- 3) El pH del lodo digerido está entre 7.0 y 8.0. Con un pH mayor a 6.5 se inhibe la digestión y por debajo de 4.0 cesa esta también.
- 4) Ácidos volátiles por debajo de unos 2000 mg/lt como máximo. Valores normales, oscilan alrededor de los 300 mg/lt.
- 5) La alcalinidad es superior a unos 2500 mg/lt, estando la del influente por encima de 1000 ó 2000 mg/lt.
- 6) Grasa ausente en el lodo digerido.
- 7) Lodo digerido negro, rápidamente drenable y con sólo ligera viscosidad.

El N del lodo digerido será como promedio de 1.5 a 2.0%, según su composición original. El contenido de ácido fosfórico variará entre .3 y 1.5%, con valores más bien cercanos a 1.4%. No debe contener potasa. La presencia de ácido sulfhídrico, escatol, mercaptanos, y otras substancias de mal olor, indicará que la digestión no es satisfactoria.

Para el proyecto de tanques de digestión de lodos, suelen emplearse los siguientes valores:

TIPO DE INSTALACION	LITROS POR HABITANTES DIARIOS	
	CALENTADO	SIN CALENTAR
Tanque Imhoff	85	a 113.3
Tanque Imhoff y filtro	113.3	a 141.6
Primario	56.6 a 85.0	113.3 a 169.9
Primario y filtro ordinario	85.0 a 113.3	169.9 a 226.5
Primario y filtro de acción rápida	113.3 a 141.6	226.5 a 283.2
Lodo activado	113.3 a 169.9	226.5 a 239.8

El fondo de los tanques se hace a 30° de pendiente hacia donde

se halle el tubo de extracción de lodo. Para poblaciones de menos de 5000 habitantes debe proporcionarse con un 30% adicional de capacidad.

4.10.3 CALOR EN EL TANQUE Y SU CONTORNO

El diseño del compartimiento de calentamiento para poder mantener la temperatura deseada en el tanque de digestión, requiere el estudio del balance térmico en el tanque. Donde el suministro de calor sea costoso, puede resultar económico aislar el tanque contra las pérdidas de calor. El calor se necesita para:

- 1) Elevar la temperatura del lodo que entra al tanque hasta el grado deseado.
- 2) Compensar las pérdidas de calor al terreno o al aire circundante.
- 3) Compensar las pérdidas por radiación, desde tubos de agua caliente al exterior del tanque.

Las pérdidas de calor del tanque de digestión, pueden expresarse por la ecuación:

$$H_2 = A_t (T_t - T_e) (C_1)$$

en donde:

H_2 = Pérdida en BTU en el tanque, por hora

A_t = Area de la superficie del tanque, parte superior, fondo y paredes, en metros cuadrados multiplicada por 11.1

T_t = Temperatura del interior del tanque en grados Fahrenheit.

T_e = Temperatura del exterior del tanque en grados Fahrenheit.

C_1 = Coeficiente de conductividad térmica, en BTU por hora, por metro cuadrado de superficie del tanque, por grados Fahrenheit de diferencia de temperatura, multiplicado por 11.1.

Los coeficientes de transmisión de calor en los tanques de digestión de lodo suelen ser:

Concreto totalmente cubierto con tierra seca .07

Concreto con la parte superior descubierta y rodeado de tierra seca .10

Concreto con la parte superior expuesta al aire, las paredes en tierra húmeda y el fondo en el agua subterránea. .20 - .25

El calor necesario para elevar la temperatura del lodo entrante puede expresarse por:

$$H_1 = W (T_t' - T_s) (S)$$

en la que:

H_1 = BTU por hora

W = Kilogramos de lodo que entran en el tanque, por hora, multiplicados por 2.2

T_t' = Temperatura del lodo en el tanque, en grados Fahrenheit.

T_s = Temperatura del lodo que entra en el tanque en grados Fahrenheit

S = Peso específico del lodo, tomando el agua = 1.

La pérdida de calor de los tubos de agua caliente se pueden expresar por medio de la ecuación.

$$H_2 = A_t (T_t - T_e) (C_1)$$

Incrementado ligeramente el valor del coeficiente de transmisión de calor.

El balance térmico del tanque se puede expresar por la ecuación:

$$H = A_p (T_w - T_t) (C_2)$$

= $W (T_t - T_s) S + A_t (T_t - T_e) C_1 + A_p' (T_w - T_A) C_2' + L$
en donde:

A_p = Área de la superficie de calentamiento de los tubos en el tanque de digestión, en metros cuadrados, multiplicado por 11.1.

A_p' = Área de superficie de calentamiento de los tubos fuera del tanque de digestión, en metros cuadrados multiplicada por 11.1

L = Otras pérdidas en BTU

H = Calor total que interviene en BTU

T_w = Temperatura media del agua caliente, en grados Fahrenheit.

C_2 = Coeficiente de transmisión de calor a través del tubo aislado.

T_1 = Temperatura del aire circulante.

4.10.4 TIEMPOS MEDIOS DE DIGESTION

Los períodos de digestión que se usaban antiguamente, variaban entre 30 y 60 días, bajo condiciones mesofílicas, en tanques con temperatura regulada.

Cuando no se regula la temperatura y puede bajar hasta la región psicrófila en tiempo frío, como en los tanques Imhoff, se han usado períodos de hasta 6 meses. Ciertos ensayos y la experiencia de la práctica, han mostrado que con una debida regulación de las condiciones del medio, el lodo se puede digerir hasta en 5 días.

Tan corto período de digestión bajo condiciones termofílicas, se llama DIGESTION RAPIDA. En instalaciones grandes tiempos considerados razonables son entre 10 y 15 días.

4.10.4.1 DIGESTION RAPIDA

Esta se realiza en tiempos menores o iguales a 9 días. Las variables básicas son:

- 1) Una mezcla continua, suficiente para sembrar el lodo entrante y para evitar la formación de espuma.
- 2) La posibilidad de hacer la alimentación con un lodo concentrado.
- 3) La posibilidad de una alimentación tan continua como sea posible; y
- 4) Una temperatura sumamente controlada dentro del rango -- 32.2 a 34.7° C.

Contenido de sólidos volátiles de .24 a .4 Kg por cada 100 l de volumen de tanque por día.

Lodos con contenidos de sólidos del 8% para cada ciclo de digestión.

En el proceso de reducción catalítica, el gas de digestor se difunde a través del tanque de digestión mezclando el lodo fresco y el gas.

Por otra parte, la eliminación del líquido que sobrenada reduce las necesidades de calentamiento del lodo bruto, y el funcionamiento del digestor mejora.

4.10.4.2 DIGESTION POR FASES

Separando la digestión en dos o más fases, se puede mejorar el proceso y evitar la presencia de espuma. La acción digestiva es más rápida durante la primera fase, durante la cual se desprenden más de la mitad de los gases totales, durante las primeras 24 horas; por lo cual, la primera fase de la digestión se completa en pocos días. Por lo regular 6 ó 8 días y 22 a 24 días para la segunda fase. La digestión de dos fases se realiza bombeando el lodo de un tanque de primera fase a otro para la segunda fase. Se obtienen resultados satisfactorios realizando la primera fase bajo condiciones termoflicas y la segunda fase en un tanque sin calentar. Entre las ventajas de la digestión en dos fases, en tanques independientes, está el hecho de requerir un sistema de calentamiento más pequeño y su uso por un período menor.

4.10.4.3 FACTORES DE LOS TANQUES DE DIGESTION.

Para la digestión del lodo conviene una mezcla completa, con el fin de distribuir perfectamente el material que entra, mantener temperaturas uniformes, reducir la formación de espuma, y asegurar la utilización de todo el contenido del tanque. Algunos tanques están dotados de dispositivos mecánicos de mezcla, accionados con motor. Otros métodos en uso comprenden, la descarga de los gases del digestor en los niveles inferiores del tanque, la recirculación del contenido del tanque por bombeo, la admisión de lodo por diversos lugares y alturas, y algunos otros dispositivos automáticos. En general, cuanto más sofisticados son los tanques, las técnicas empleadas y el control usado, más cortos son los tiempos de digestión requeridos.

La agitación del lodo en un tanque de temperatura regulada, dotado de tubos de calefacción, mejora la transmisión del calor de los tubos al contenido del tanque.

Esta agitación, también tiende a evitar la formación de una capa de lodo aisladora en torno a los tubos.

En las grandes instalaciones donde se dispone de tanques para digestión secundaria, se remueve o agita el contenido de los digestores primarios, para reducir el tiempo de la digestión.

4.10.5 CARACTERISTICAS DE LOS DIGESTORES

Los tanques digestores pueden construirse de casi cualquier forma, cubiertos o no cubiertos, calentados o no calentados y con limpia manual o mecánica. Un diseño muy común es el circular. Los aspectos fundamentales del diseño de un digestor son:

- 1) El volumen de lodo que se someterá a digestión diariamente.
- 2) El período de digestión
- 3) El método de calefacción
- 4) El método de agitación
- 5) El proceso mediante el cual se agrega y retira el lodo, así como aquel para extraer el líquido que sobrenada.
- 6) El tipo de cubierta; y
- 7) La forma de recolectar y extraer el gas.

La capacidad del digestor puede aproximarse a través de la fórmula:

$$\text{Capacidad} = \frac{V_1 + V_2}{2} (T)$$

en la que V_1 es el volumen de la dosis diaria, V_2 es el volumen de esa dosis después del período de permanencia en el tanque y T es el período de digestión en días. La fórmula se basa en la suposición de que la reducción de volumen varía en forma proporcional al tiempo de digestión. Ciertos estudios, han mostrado que la reducción es más rápida en las primeras fases de la digestión, y que por tanto la capacidad del tanque, dada por la fórmula en algunos casos está ligeramente excedida.

El período de digestión " T ", está determinado por el tiempo necesario para producir un lodo casi perfectamente digerido.

" V_2 " es igual al volumen de lodo extraído del tanque, dividido por el número de días entre dos extracciones sucesivas. Como los valores de " V_2 " y de " T " no pueden preverse exactamente se suele recurrir a la experiencia para determinar la capacidad del tanque. Cuando se use digestión rápida, los volúmenes de los tanques pueden reducirse inclusive hasta la cuarta parte de los anteriores.

Los tanques de digestión doble, que es un tanque debajo de otro, con compartimientos independientes, dotados de un mecanismo clarificador en el compartimiento superior, y un mecanismo de diges

ción en el compartimiento inferior o cámara de digestión: tienen la objeción de ser muy profundos, factor que incrementa su costo.

Existen fondos planos, pero se recomiendan que tengan pendientes de por lo menos 20°.

Es conveniente tener en cada instalación un cierto número de unidades de digestión, pues cuando hay alguna anomalía en el proceso de digestión de un tanque, se resuelve el problema suspendiendo su funcionamiento e incrementando el servicio de los demás tanques.

Para la extracción del líquido que sobrenada, deben existir diversas salidas a variadas profundidades con sus respectivas válvulas.

La cámara de operación y regulación del tanque, debe diseñarse de modo que ofrezca seguridad al operador y al equipo que allí funciona, además, deberá tener facilidades de acceso mediante escalera, estar iluminada, ventilada, y contar con servicio de agua y de drenaje.

4.10.5.1 TECHO DE LOS TANQUES

Existen tanto fijos como flotantes. Entre las ventajas de las cubiertas flotantes sobre las fijas están:

- 1) Menos dificultades a causa de espumas, debido a que los sólidos están sumergidos constantemente;
- 2) Cuando se agrega lodo nuevo al tanque o se extrae lodo digerido, o líquido que sobrenada, no es necesario sacar o introducir un volumen igual de líquido o de lodo, como tiene que hacerse en un tanque con cubierta fija;
- 3) Se reduce al mínimo la posibilidad de que se mezcle gas con oxígeno, lo cual podría favorecer una mezcla explosiva;
- 4) Se controla mejor el gas producido.

Los tanques con cubierta fija son más económicos. El único peligro radica en el hecho de que penetre aire en el tanque y se forme una mezcla explosiva; esto, puede evitarse por medio de un dispositivo automático que hace que pase gas de un depósito al tanque en cualquier momento en que la presión tienda a ser menor a la atmosférica.

4.10.6 SUBPRODUCTOS DE LA DIGESTION ANAEROBIA DE LODOS.

Los subproductos más comunes producidos son el metano, que es combustible y el bióxido de carbono que no lo es, el ácido sulfhídrico y en escasas ocasiones H y N.

El ácido sulfhídrico es un gas explosivo y tóxico. En plantas bien diseñadas pueden emplearse los subproductos para producir calor, mediante su combustión, y calentar el agua que se circula para mantener cierta temperatura en los tanques digestores primarios.

La captación, almacenamiento y utilización de estos subproductos de la digestión de lodos, sólo suelen justificarse económicamente en plantas grandes.

El líquido que sobrenada es el otro importante subproducto formado, su problemática radica en que es séptico, rico en líquidos en suspensión y con una DBO elevada. Los métodos empleados para su evacuación son: drenaje a lechos de arena, sin ningún otro tratamiento posterior, mezcla con el influente de la instalación de tratamiento y oxidación, adición de compuestos y nuevamente entrega al influente de la instalación de tratamiento.

4.10.7 ADICION DE CAL EN LA DIGESTION DE LODOS

Se agrega cal al lodo para corregir la acidez y evitar la formación de espuma: pero si no se suministra y aplica adecuadamente, el resultado puede ser un efluente peor que el que se hubiere tenido sin adición de cal.

Puede estimarse la cantidad de cal necesaria, o aplicar una dosis diaria de 2.25 a 4.5 Kg de cal hidratada por cada 1000 personas tributarias. Es preferible hacer aplicaciones frecuentes y pequeñas, mezclándolas bien, que hacer aplicación de una dosis grande sin mezclarla, con el inadecuado resultado de un aumento en la formación de espuma. En algunas instalaciones sólo se mezcla cal con el líquido que sobrenada en el tanque de digestión. En otras, se bombea el lodo de un tanque a otro y se mezcla cal con el lodo durante este transporte. La cal es común disolverla e inyectarla por tuberías en forma de lechada.

4.11 ELIMINACION DE LODOS

4.11.1 METODOS DE DESECACION

Es necesario hacer algo con los productos de residuo, tales como los lodos. El lodo para poder ser empleado ya sea para relleno de terrenos, fertilizante o cualquier otro fin, tiene que ser desecado. La eliminación de la humedad del lodo reduce su volumen y modifica sus características, de tal modo que un lodo que contenga menos agua es más ligero y por tanto en estado semiseco, más fácil de trasladar.

Entre los métodos para desecar el lodo figuran, los lechos de arena, las prensas, los filtros de vacío, las centrífugas y los desecadores por calor.

La desecación en lechos de arena es práctica en instalaciones pequeñas de tratamiento de aguas. El límite práctico de instalaciones pequeñas a grandes, oscila en que la planta atienda a más de 30,000 habitantes aproximadamente. En las instalaciones grandes se usa equipo mecánico.

La fluctuación de la carga es factor importante en la elección del tipo de desecación de lodo y los costos implicados. En las instalaciones más grandes, debe adoptarse una capacidad para el almacenamiento de lodos mínima de 2 días y una capacidad de filtro e incinerador que pueda manejar de tres a cuatro veces el promedio diario de sólidos desecados, a fin de trabajar adecuadamente en ocasiones en que ocurren gastos en el influente a la planta, muy por encima del valor medio.

Las plantas grandes trabajan constantemente en tanto que las pequeñas lo hacen en ciertos días únicamente.

En comunidades pequeñas, pueden las plantas de tratamiento requerir una capacidad de almacenamiento de lodo de hasta 15 días, esto a fin de permitir el funcionamiento del equipo mecánico eficazmente en cierto tiempo, en lugar de hacerlo funcionar más frecuentemente, con menor eficacia.

4.11.2 INCINERACION

Los lodos de desecho pueden ser quemados. Las temperaturas de desecación son de unos 350°C, en tanto que las de incineración de

unos 650° C.

El calor necesario contenido en un lodo fresco promedio con un 70% aproximadamente de sólidos volátiles, es de unos 17,000 BTU por Kg de sólidos secos obtenidos. En lodos digeridos con un 40% aproximadamente de materiales volátiles, existen unos 8,500 BTU por kilogramo de sólidos. Por lo anterior, la torta de un filtro con un contenido de humedad de un 60 a 70%, puede quemarse sin combustible o con un escaso volumen de éste para iniciar la combustión.

El valor calorífico de un lodo puede determinarse por las siguientes fórmulas:

- a) Para lodo de sedimentación simple

$$Q = 85 P^{1.085} - 700$$

- b) Para lodo activado

$$Q = 69.2 P^{1.085}$$

- c) Para lodo de sedimentación simple, con productos químicos

$$Q = 85 \frac{Pc \left(1 + \frac{P}{100} \right)^{1.085} - 700}{1 + (p/100)}$$

- d) Para lodo activado, con productos químicos

$$Q = 69.2 Pc \frac{\left(1 + \frac{P}{100} \right)^{1.085}}{1 + (P/100)}$$

en donde:

Q = BTU, por Kg. de sólidos secos, multiplicado por .453.

P = Tanto por ciento de materia volátil de los sólidos secos.

Pc = Tanto por ciento de materia volátil en lodo

p = Tanto por ciento de producto adicionado, basado en los sólidos secos que quedan en el lodo precipitado.

Un balance térmico común en la incineración de lodo, puede ser el siguiente:

EXEDENCIA CALORIFICA: 6,000,000 BTU por hora por 453 Kg de lodo. Con humedad de 75% y 60% de sólidos volátiles.

REQUERIMIENTOS CALORIFICOS:

Pérdidas por vaporización	3,336,000
Calor en los gases desprendidos	1,645,000
Pérdida de calor a través del hidrógeno desprendido	419,000
Calor radiado	300,000
Calor absorbido por combustibles	150,000
Calor latente en las cenizas	120,000
Pérdidas totales	6,000,000 BTU

En la práctica, es necesario adicionar un poco de combustible para una eficiente incineración. Ella debido a que no todo el calor que desprende el lodo al quemarse, es suficiente para ceder -- energía a todo aquello que alrededor de la masa ardiente es capaz de absorber algo de energía.

4.11.3 INCINERADORES DE LODO

Existen dos tipos generales de incineraciones de lodo, el DIREC TO y el de CORAZON MULTIPLE.

INCINERADOR DIRECTO En los de este tipo, la torta de lodo se mezcla con lodo seco y se descarga en una "Torre de Calor" donde el material se mezcla con gases ascendentes sobrecalentados. El vapor de agua del lodo se escapa con los gases calientes y el material seco se extrae; en ocasiones se muele en un molino de tipo de jaula de ardilla y posteriormente se separa con un ciclón o con un separador centrífugo. El polvo resultante, que contiene un 10% de humedad aproximadamente, puede distribuirse en un incinerador donde se quema fácilmente, contribuyendo al calentamiento de la torre de calor, esto último, a través de los gases calentados.

INCINERADOR DE CORAZON MULTIPLE En este tipo de incinerador la torta de lodo se descarga en el elemento superior de una serie de corazones circulares.

Generalmente de 4 a 8, localizados uno sobre otro en el interior de un horno. Quemadores de combustible líquido en las partes superiores ayudan al calor que sube en los corazones inferiores,

para extraer la humedad del lodo. Rastrillos mecánicos hacen pasar el lodo en desecación de unos corazones a otros, eliminando suficiente humedad para que el lodo arda sin calor auxiliar en los corazones más inferiores.

4.11.4 DESECADORES TERMICOS

Para hacer eficiente el transporte de lodos, habrán de transportarse éstos y no altos contenidos de agua con gran peso: por ende, un rango razonable máximo de contenido de humedad en peso es el 10%. Cuando los lodos piensan usarse posteriormente como fertilizantes, se sugieren también contenidos de humedad semejantes.

Para llevar a los lodos a contenidos de humedad del orden de los citados, éstos se hacen procesar a través de aparatos mecánicos y térmicos tales como precalentadores, mezcladores, molinos, ventiladores de corriente inducida, conductos, sistemas de purga, clasificadores ciclónicos, extractores de cenizas, calentadores para secado directo ó indirecto y desecadores por aspersion.

4.11.4.1 DESECADORES DIRECTO-INDIRECTOS

Algunos de estos desecadores térmicos, suelen estar constituidos por tres cilindros de izquierda a derecha: el primero es fijo y funciona como precalentador, el segundo colocado a continuación del primero y con posibilidad de ir girando, funciona como un desecador y mezclador, y el tercero es de cerca de una tercera parte de diámetro de los dos anteriores y se coloca en el interior de los mismos.

El flujo de lodo se realiza de izquierda a derecha, estando los cilindros inclinados de modo que se fomente un flujo de lodo por gravedad hacia la derecha. El hogar de combustión se halla localizado debajo del primer cilindro y está conectado al tubo interior, éste, hará fluir los gases calientes de la izquierda a la derecha a través de su interior, y al final del mismo estos son entregados a los tubos principales de mayor diámetro donde regresará de derecha a izquierda, estando en contacto con el lodo, su extracción se realiza por la parte alta del extremo izquierdo; por donde

posteriormente pueden lavarse o simplemente ser expulsados. El segundo cilindro gira a unas 8 RPM. Los consumos de combustible suelen fluctuar alrededor de 1 Kg de combustible por cada 10 Kg de agua evaporada.

Los rendimientos de desecadores de 60' con diámetros de 6', son de unas 2.7 t/h de agua.

Los olores generados por la desecación de lodo, pueden evitarse elevando la temperatura de los gases a más de 650° C.

4.11.4.2 DESECADORES POR ASPERSION

En los desecadores por aspersion se pulveriza el lodo húmedo sobre una chimenea caliente por la que está pasando una corriente de gases caliente. El agua evaporada de las partículas atomizadas, se desprende con los gases calientes. Los sólidos secos se depositan en la base de la chimenea. El polvo arrastrado con los gases calientes se asienta más tarde en un recogedor de polvo de ciclón antes de enfriarse.

4.11.4.3 OTROS MODALIDADES DE DESECACION

En ellas, el lodo húmedo se calienta, durante un período corto a unos 200° C, posteriormente se le separa agua por decantación y el residuo se termina de secar por filtración en prensas. Se estiman a través de estos procedimientos, que por medio del tratamiento con calor del lodo, se acelera su filtración con un factor de 200 a 1000 dependiendo de que tan fresco sea el lodo.

4.11.5 FLOTACION

Esta técnica se basa en la extracción de sólidos en suspensión o precipitados de un líquido por el efecto de los diferentes pesos de las partículas. Así como por el empuje que ejercen pequeñas burbujas de gas en los líquidos. Cuando los pesos específicos de las partículas constituidas del lodo se aproximan a la unidad, pueden separarse del líquido más económicamente por flotación que por otros procesos.

Algunos lodos pueden secarse por flotación mediante la aplica-

ción de un ácido. Como puede ser el sulfúrico ó la adición de alumbre a temperaturas de 35 a 50° C., y dejándolos reposar de 3 a 4 horas.

En el proceso, se genera CO_2 , el proceso lleva el lodo a la superficie con un contenido de humedad de 88 a 90 por ciento. El líquido que queda debajo se extrae y suele devolverse al agua entrante a la instalación de tratamiento.

Otro procedimiento de flotación es el que mantiene en un tanque de unos 4 m de profundidad el lodo a una temperatura de unos 30° C, por un tiempo de unos 5 días. Después de este período el lodo concentrado sube a la superficie.

Otro procedimiento es el uso de un tanque cilíndrico de unos 3m de profundidad y cubierto con una bóveda. Los diámetros del tanque varían de 4 a 18 m., El tanque se mantiene a un vacío de unos 23 -- cms de Hg. Luego de la aireación de lodos, estos se depositan en estos tanques, en los cuales el aire que se ha disuelto, se separa en pequeñas burbujas que, al subir a través de las aguas, arrastra las partículas en suspensión y las sube a la superficie. Los períodos de retención, son del orden de 10 a 20 minutos.

4.11.6 FILTROS DE VACIO

Son los que están teniendo más aceptación en instalaciones medianas y grandes. Consisten en un cilindro perforado cubierto con tela de filtro sostenida por una red de alambre. En el interior del cilindro se hace vacío. El cilindro está flotando sobre un tanque de lodo, pero una tercera parte de él, se encuentra sumergida. En sus extremos el cilindro se haya montado sobre ejes que lo mantienen fijo y lo hacen girar. La red de alambre y tela del filtro se mueve alrededor de 3 ejes, uno de los cuales es tambor de vacío -- (que es el cilindro) y los otros 2 ejes de pequeño diámetro. La -- longitud de la red de alambre y tela del filtro, suele ser de unas 2 veces el perímetro del cilindro. Al girar el cilindro, la tela recorre su perímetro y luego va al otro eje situado por debajo de la altura del centro del tambor de vacío. El otro eje se halla -- aproximadamente a la misma altura del centro del tambor vacío; Así del segundo eje luego de llevar una trayectoria descendente desde

la parte alta del cilindro hasta el 2do. eje situado cerca del sue-
lo, la malla vuelve a subir hacia el 3er eje situado a las tres --
cuartas partes de la altura del cilindro, y se adhiere nuevamente
a la periferia del cilindro en rotación. El procedimiento consis-
te en la adhesión del lodo a la tela de cilindro sumergido en el
tanque debido a la adsorción que genera al vacío del interior del
tanque; luego al girar el cilindro, esta masa adherida sale del --
tanque de lodo y va perdiendo agua por el continuo vacío que hay
en el interior del cilindro, pero continúa girando, al llegar a la
parte alta del cilindro giratorio, la tela metálica se despega de
este y se traslada hacia el segundo eje. En este momento, ya hay
sobre la tela de filtración, una torta de lodo bastante seca, la
cual se separa de la tela, en el segundo eje cuando ésta última gi-
ra 180° alrededor del 2do. eje para ir al tercer eje que volverá
a colocar la tela metálica sobre el cilindro giratorio.

El cilindro gira sobre su eje con una velocidad de 1 pie/min.
El vacío del interior varía entre .25 a .7 mca. Estos filtros exis-
ten en diámetros hasta de 6 m, y variadas longitudes. La calidad
de la tela del filtro tiene mucha importancia para un buen rendi-
miento. Entre las características convenientes se encuentran flexi-
bilidad, firmeza, resistencia a astillas y desgaste, poca dilata-
ción, pelusa de 1.3 cms. o más de longitud, porosidad, resistencia
a ácidos, álcalis y compuestos orgánicos.

Los materiales para esta tela suelen ser de: algodón, lana,
lana sin tratar, lana tratada, vinyon, nylon, sarán, dynel, orlón,
dacrón y diversas combinaciones de ellos. El peso de la tela varía
entre 12 y 16 onzas por yarda cuadrada.

La tela se monta sobre un malla de acero inoxidable que la --
transporta. En algunos tipos de filtración al vacío de lodos, que
tienen partículas gruesas, se omite el uso de la tela y sólo hay -
una malla metálica de un número alto de hilos por pulgada cuadrada.

El uso de mallas metálicas permite una rotación más rápida del
cilindro, se maneja una capa más delgada de lodo seco y los interva-
los en que se requiere una malla nueva son mayores.

4.11.7 PRENSAS

En las prensas se extrae el agua del lodo por la presión de -

este contra una tela de filtro sostenida sobre una placa multiperforada. La presión que se ejerce sobre el lodo puede ser de 3.5 a 8.5 Kg/cm². Esta presión extrae el agua del lodo a través de la tela porosa. El líquido separado del lodo es altamente oxidable y debe devolverse al líquido entrante de la instalación de tratamiento. El prensado de los lodos grasos, se facilita con la adición de 4.5 a 6 Kg de cal por m³ de lodo. La torta formada en este caso, es más coherente y más fácil de manejar.

El rendimiento de las prensas depende de los constituyentes y la frescura del lodo así como de los compuestos adicionales en los procedimientos de acondicionamiento del agua.

En algunas prensas, la desecación se realiza bajo presiones muy inferiores a la presión crítica que rompería las partículas de lodo. La desecación se lleva a cabo por fases sucesivas con presiones crecientes. Los resultados han sido, no necesitarse compuestos acondicionadores para mejorar la calidad de la torta, un menor consumo de energía, menor necesidad de espacio y una producción a ritmo uniforme y continuo.

4.11.8 ELUTRIACION

Esta es la reducción de la alcalinidad de una agua por dilución, sedimentación ó decantación, en agua de menor alcalinidad. La elutriación consiste en el lavado del lodo por decantación, para quitarle los materiales solubles que actúan como inhibidores de la coagulación. Es un auxiliar útil para la preparación del lodo que va a desecarse por filtración al vacío.

La elutriación se lleva a cabo mezclando agua o efluente de la instalación, con el lodo, durante unos 10 minutos, sea mecánicamente ó con difusión de aire y después dejando que la mezcla se asiente y separando el líquido que sobrenada. Este líquido es eliminado como desecho. Las relaciones de lodo a agua, en el proceso de elutriación, están entre 1:1.5 y 1:4.5.

Entre las ventajas atribuídas a este proceso figuran:

- a) Reducción del contenido de sólidos
- b) Reducción del 65 al 80% de acondicionadores,

que es necesario añadir en procesos posteriores si no se hace elutriación;

Los resultados de los procesos de ablandamiento mas generalizados son:

<u>PROCESO</u>	Residuos miligramos/litro			
	<u>DUREZA</u>	<u>ALCALINIDAD</u>	<u>SILICE</u>	<u>SDT</u>
Intercambio de sodio	Cero	135	10	290
Intercambio de sodio y ácido	Cero	20	10	290
Corriente dividida	Cero	20	10	170
Cal parcial o "frío"	75	50	9	190
Cal caliente y zeolita	Cero	30	1	155

5.3.2.3 ALCALINIDAD

Es deseable tener alguna alcalinidad en el agua de la caldera, por lo que rara vez se lleva a cabo una remoción completa de la alcalinidad del agua, excepto en la desmineralización. También se necesita cierta alcalinidad para dar el pH óptimo en el agua de alimentación a fin de prevenir la corrosión de la tubería y del equipo.

La alcalinidad en el agua de reemplazo, puede presentarse como HCO_3 u OH. Si el agua de reemplazo es agua del servicio público, que se ha ablandado con zeolita, la alcalinidad está usualmente en forma de bicarbonato HCO_3 ; si se ha ablandado con cal es casi - carbonato puro CO_3 , pero el agua puede contener también algo de hidróxido OH.

Quando los bicarbonatos y los carbonatos se exponen a las temperaturas de la caldera, se rompen librandó CO_2 :

El gas dióxido de carbono se redisuelve cuando el vapor se condensa y produce ácido carbónico corrosivo.

La cantidad de CO_2 generado es proporcional a la alcalinidad. Para una alcalinidad dada se forma el doble de CO_2 tanto a partir

2. Tratamiento interno del agua de alimentación de la caldera, agua de la caldera, vapor, o condensado, con productos correctivos.
3. Purgado-control de la concentración de productos en el agua de la caldera por el sangrado de una porción del agua en la caldera.

5.3.2 TRATAMIENTO EXTERNO

La mayor parte de las operaciones unitarias del tratamiento de agua pueden usarse solas o en combinación con otras para adaptar - cualquier abastecimiento de agua a cualquier sistema de caldera.

La conveniencia de los procesos disponibles se juzga por los resultados que producen y por los costos implicados.

El programa de tratamiento de la caldera apunta al control de siete clasificaciones amplias de impurezas:

sólidos suspendidos

dureza

alcalinidad

sílice

sólidos disueltos totales (SDT)

materia orgánica

gases

A continuación explicaré el grado hasta el que cada uno de los procesos unitarios aplicables al tratamiento de agua de calderas, reducen o eliminan impurezas.

5.3.2.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

La remoción de los sólidos suspendidos se logra por coagulación/floculación, filtración o precipitación. Por lo general, -- otros procesos unitarios, excepto la reacción directa, requieren -- una remoción previa de los sólidos. Por ejemplo, el agua que se va a procesar por intercambio iónico deberá contener menos de 10 mg/l de sólidos suspendidos para evitar el ensuciamiento del intercambiador, así como los problemas de operación.

5.3.2.2. DUREZA

Cierto número de operaciones unitarias remueven el calcio y el magnesio del agua. El intercambio de sodio remueve la dureza.

rado denso, semejante a la incrustación, pero manteniendo las características de los precipitados originales.

El segundo problema importante relacionado con el agua en las calderas es la corrosión, el ejemplo más común de esta es el ataque del acero por el oxígeno. Esto sucede en los sistemas de abastecimiento de agua, en los sistemas de prehevedores, en las calderas, en las líneas de retorno de condensados, y virtualmente en cualquier porción del sistema de servicios en donde haya oxígeno presente. El ataque de oxígeno se acelera por altas temperaturas y por bajo PH. Un tipo de corrosión menos frecuente es el ataque alcalino, que puede ocurrir en calderas de alta presión donde el cáustico puede concentrarse en un área local de formación de burbujas de vapor debido a la presencia de depósitos porosos.

Algunos productos para el tratamiento del agua de alimentación, como los quelatantes, si no se aplican correctamente, pueden corroer las tuberías de alimentación de agua, las válvulas de control y aún las partes internas de la caldera.

La eliminación del oxígeno del agua de alimentación de la caldera es el paso más importante para controlar la corrosión de la caldera.

El tercer problema importante relacionado con las operaciones de las calderas son los arrastres desde la caldera hacia el sistema de vapor. Esto puede ser un efecto mecánico, como cuando el agua de la caldera se rocía alrededor de una mampara rota; puede deberse a la volatilidad de ciertas sales del agua de la caldera, como la sílice y los compuestos de sodio; o puede ser causado por el espumado. Los arrastres son con mucha frecuencia un problema mecánico, y las sustancias que se encuentran en el vapor, son las que originalmente están presentes en el agua de la caldera mas los componentes volátiles que destilan en la caldera aún en ausencia de rocío.

Existen tres medio básicos para mantener estos tres importantes problemas bajo control:

1. Tratamiento externo del agua-reemplazo, condensado, o ambos antes de que entre a la caldera, para reducir o eliminar sustancias como dureza o sílice), gases o sólidos.

5.3.1 PROBLEMÁTICA GENERAL

Los depósitos, en particular las incrustaciones, se pueden formar sobre cualquier superficie de un equipo lavado con agua, especialmente en los tubos de las calderas; En cuanto las condiciones de equilibrio en el agua en contacto con estas superficies -- sean perturbadas por una fuerza externa, como el calor.

Cada contaminante tiene una solubilidad en el agua definida y se precipitará cuando aquella sea excedida. Si el agua está en contacto con una superficie caliente y la solubilidad de los contaminantes es mayor a menor temperatura, el precipitado se formará sobre la superficie, causando una incrustación.

Los componentes mas comunes de los depósitos de calderas son: Fosfato de Calcio, carbonato de calcio (en las calderas de baja presión), hidróxido de magnesio, silicato de magnesio, varias formas de óxido de hierro, sílice y alúmina. Si se usan sales de fosfato en el tratamiento del agua de la caldera, el calcio precipitará como fosfato antes de precipitar como carbonato, y el fosfato de calcio se convertirá en la característica más importante del depósito.

En las calderas de baja presión, con bajas tasas de transferencia de calor, pueden formarse depósitos hasta un punto en que ocluyen totalmente los tubos de la caldera. A tasas mayores de transferencia de calor, y en calderas de alta presión, el problema es más severo. A temperaturas en el intervalo de 482 a 732°C, el acero al carbón comienza a deteriorarse. Las temperaturas dentro del horno de la caldera están muy por encima de este intervalo crítico de temperatura. El agua que circula a través de los tubos, normalmente aleja el calor del metal, evitando que el tubo alcance este intervalo. Los depósitos aíslan el tubo y reducen la tasa a la que puede quitarse este calor; esto lleva a un sobrecalentamiento y a una ruptura del tubo. Si el depósito no es lo bastante grueso como para causar tal ruptura, todavía puede causar una importante pérdida en la eficiencia así como una interrupción de la carga de transferencia de calor en otras secciones de la caldera.

Los depósitos pueden ser incrustaciones, precipitadas "in situ" sobre una superficie calentada, o sustancias precipitadas previamente, frecuentemente en forma de lodos. Estos se separan del agua en las áreas de baja velocidad, compactándose para formar un aglomerado.

5.3 "ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS"

El agua que se habrá de emplear en calderas deberá tener la calidad necesaria. Ello, a fin de darle una larga vida útil a los sistemas de calderas y de vapor; así como evitar fallas inducidas que pudiesen ocasionar una reducción de la eficiencia y un decremento de la productividad.

Es necesario seleccionar aquel proceso o conjunto de procesos tanto externos como internos que conlleven a la obtención de agua de la calidad requerida al costo mas bajo.

En los procesos primarios o externos se seleccionarán uno o -- varios de los siguientes métodos según haga falta:

- a) Disminución de sólidos suspendidos.
- b) Reducción de pureza
- c) Reducción o incremento de alcalinidad
- d) Reducción de sílice
- e) Eliminación de sólidos disueltos totales
- f) Control de materia orgánica disuelta
- g) Separación de gases disueltos

Posteriormente se realizará un análisis teórico y práctico para seleccionar entre uno de los siguientes programas de acondicionamiento de agua:

- a) Programa de coagulación
- b) Programa de fosfatos
- c) Programa de quelatantes
- d) Programa de fosfato coordinado

Luego de seleccionado el programa idóneo, es recomendable analizar los efectos secundarios de los contaminantes que dejará en el vapor producido y, si no afectan de modo importante la pureza del vapor elaborado, o pueden a largo plazo dañar los sistemas de formación y suministro de vapor.

Ya teniendo los procesos externos e internos que mejor se adecúan, se elaboran programas de operación de purgado del sistema de producción de vapor, atendiendo a su presión, temperatura y capacidad de generación.

El tratamiento con cilohexilamina ha ayudado a reducir la corrosión en los condensados de retorno de sistemas de calefacción con vapor.

Se ha mostrado que el tratamiento con amina es útil en sistemas de vapor en los que la corrosión de las líneas de retorno es un problema serio.

5.2.13 TRATAMIENTO CON ACEITE PARA PREVENIR LA CORROSION DE LAS LINEAS DE CONDENSADO

Se ha utilizado el aceite para proporcionar un recubrimiento protector sobre las superficies internas de líneas de vapor y líneas de retorno de condensado. Si la aplicación puede hacerse uniformemente y se puede agregar suficiente aceite en forma continua para corregir las roturas en la película, el tratamiento puede ser bastante satisfactorio. En la mayor parte de las instalaciones en las que se ha empleado el tratamiento con aceite, éste ha sido atomizado directamente en el vapor antes de los lugares en los que se ha obtenido el punto de rocío.

Recientemente se han desarrollado aminas formadoras de películas que pueden aplicarse en forma completamente similar al aceite. Estos son materiales serosos que proporcionan una película protectora sobre las superficies metálicas. En una serie de instalaciones de baja presión, estos compuestos formadores de películas han dado resultados favorables.

5.2.11 PELICULAS PROTECTORAS DE OXIDO DE HIERRO

Durante los períodos iniciales de operación de calderas nuevas, las superficies internas se cubren con una película protectora de óxido de hierro negro, denso y adherente que se forma bajo condiciones normales o deseables. La película tiene un espesor de -- 0.003" (0.062 cms) y permanece intacta, sin cambio apreciable en espesor a menos que sea dañada por un cambio físico, por acción electroquímica o por una combinación de estos factores. Cuando la película se rompe o es penetrada, las superficies inferiores a ella pueden ser corroídas por el agua de las calderas o el vapor. Si la película no es reconstituida, la corrosión continua a una velocidad acelerada.

5.2.12 CORROSION DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO CON VAPOR Y LINEAS DE RETORNO DE CONDENSADO.

El condensado se colecta y regresa a la casa de calderas para usarlo nuevamente como agua para alimentación. Estos retornos contienen oxígeno y bióxido de carbono en solución, siendo por ello muy corrosivos. El oxígeno puede removerse del agua de repuesto - mediante calentadores desaeradores.

La adición de materiales alcalinos puede emplearse para neutralizar la acidez. El amoníaco es un neutralizador efectivo de los ácidos, pero puede corroer al equipo de latón y cobre. Algunas -- aminas, pueden utilizarse para prevenir la corrosión y las líneas de condensado, pero como igual que el amoníaco, pueden causar corrosión en el cobre y las aleaciones de latón.

La corrosión de las superficies de calentamiento con vapor se debe principalmente al bióxido de carbono, el que acidula al condensado. Un método para prevenir la corrosión consiste en introducir suficiente cantidad de amina en el vapor para neutralizar la acidez.

La amina es muy volátil en el agua para calderas, tanto que parece que se escapa de la caldera junto con el vapor tan pronto como entra con el agua de alimentación. Para mantener un estado alcalino en el condensado en las trampas y calentadores deberán hacerse adiciones frecuentes de amina al sistema, y preferentemente continuas.

Cuando se encuentra presente sal de hierro en forma de sulfato ferroso en una solución ácida, se inhibe la corrosión.

Una sal importante que acelera la corrosividad del agua es el cloruro de magnesio.

Una cantidad relativamente pequeña de cloruro de magnesio existente en el agua puede convertirse en una fuente activa de corrosión.

El cloruro de sodio es sólo medianamente corrosivo, pero en presencia de sulfato de magnesio reacciona con este último para formar cloruro de magnesio.

El cloruro de magnesio así formado llega a ser activamente corrosivo, a menos que sea neutralizado con una sal alcalina. Si la alcalinidad se debe a sosa cáustica, el cloruro de magnesio reaccionará con ella para formar cloruro de sodio e hidróxido de magnesio, inhibiendo en esta forma las propiedades corrosivas del cloruro de magnesio.

El carbonato de magnesio y el nitrato de magnesio en presencia del cloruro de sodio pueden producir ácidos, dando el primero ácido clorhídrico y el último ácido nítrico. La sílice y el cloruro de sodio, en presencia de vapor, producirán ácido clorhídrico y silicato de sodio.

El cloruro de amonio puede ser responsable de las propiedades corrosivas de algunas aguas. Aun cuando esta condición se encuentra sólo poco frecuentemente, el agua, con un alto contenido de cloruro de amonio, puede causar corrosión.

5.2.10 EL COBRE METALICO Y SU EFECTO SOBRE LA VELOCIDAD DE CORROSION

Las aguas contienen, en ocasiones, una concentración excepcionalmente alta en amoníaco, y esta condición, en presencia del oxígeno del agua, da por resultado el desprendimiento de cantidades relativamente altas de cobre de los equipos de intercambio térmico. El cobre puede depositarse en las calderas como cobre metálico en cantidades apreciables. El cobre se deposita como masa esponjosa; en otros casos, es depositado en forma de láminas y acelera la acción de corrosión una vez que ésta se ha iniciado.

5.2.7 LA VELOCIDAD DEL AGUA Y SU EFECTO SOBRE LA CORROSION

Un aumento en la velocidad del agua que pasa sobre el metal, acelera grandemente la velocidad de corrosión. El aumento en la velocidad de la corrosión se debe al hecho de que el movimiento rápido del agua sobre la superficie acarrea cantidades mucho mayores de oxígeno al contacto con el metal.

5.2.8 LA ALCALINIDAD DEL AGUA Y SU EFECTO EN LA CORROSION DEL HIERRO

Las soluciones alcalinas diluidas muestran un aumento inicial en la cantidad de corrosión y un mayor efecto sobre las tuberías cuando están estacionarias, que las del agua pura expuesta a la atmósfera.

Los álcalis, causan un retardo en la velocidad de corrosión del hierro, que disminuye hasta cierto mínimo conforme aumenta su concentración.

La explicación de la acción de los álcalis, al retardar la corrosión, no se aplica bajo condiciones de altas concentraciones de álcalis en las que se llega hasta el punto de sobresaturación, como puede ocurrir debido a la ebullición en forma de película. El término "ebullición en forma de película" es la condición en la cual las sales alcalinas aceleran considerablemente, más que retardan, la corrosión del acero.

5.2.9 CORROSION DEBIDA A ACIDOS MINERALES

Algunas aguas se encuentran contaminadas con ácidos minerales. A veces están presentes ácido clorhídrico, nítrico, sulfúrico y acético en aguas superficiales, en cantidades apreciables, como resultado de residuos industriales descargados a los abastecimientos superficiales o subterráneos. También pueden encontrarse presentes ácidos orgánicos. El drenaje de las minas a menudo es responsable de los ácidos existentes en el agua, ya que muchas aguas provenientes de minas poseen un alto contenido de ácido. A menos que estos ácidos sean neutralizados, seguramente causarían una rápida corrosión en forma de picaduras, las cuales, sino se contrarrestan rápidamente, destruyen el metal.

ser oxidado a ácido sulfúrico bajo ciertas condiciones.

Aún a presiones tan bajas como 225 psi (15.3 kgs) el sulfuro de hidrógeno se ha encontrado como resultado del enfriamiento de vapor sobrecalentado.

En turbinas que poseen partes de aleaciones de níquel, han habido daños debidos a la acción del sulfuro de hidrógeno sobre el níquel.

La remoción de sulfuro de hidrógeno del agua; ha llevado a cabo satisfactoriamente mediante la reducción del pH, seguida por aeración en una torre de tiro forzado. La aeración remueve los sulfuros por la acción de lavado del aire y por oxidación: Una disminución del pH del agua reduce grandemente el tamaño del equipo de aeración requerido. Si se desea reducir los sulfuros a cero, es necesaria una cloración secundaria.

5.2.5 INFLUENCIA DEL pH DE UNA SOLUCION SOBRE LA CORROSION

La disminución del pH tiende a aumentar la corrosión del metal porque, un aumento en los iones de hidrógeno significa una mayor acidez en el agua. Esto, a su vez, acelera la deposición de hidrógeno conforme los iones de hierro se disuelven en el agua.

En aguas neutras o alcalinas, predomina la remoción de hidrógeno por oxidación. En agua ácida, es dominante el desprendimiento de burbujas de hidrógeno.

5.2.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA CORROSION

El agua caliente es más corrosiva que el agua fría. Este efecto depende de varios factores, de los cuales, los más importantes, son las corrientes de convección aumentadas y la disminución de viscosidad, las que aceleran la difusión del oxígeno a través de la película superficial del metal. Adicionalmente, el valor de pH del agua disminuye con un aumento en la temperatura, lo que, a su vez, acelera la deposición de hidrógeno. Muchas sales son disociadas conforme aumenta la temperatura, y esto, con el transcurso del tiempo, aumenta o disminuye la velocidad de la corrosión.

puesto después de 15 minutos de absorción. Sin embargo, ésta es una situación rara y escasos abastecimientos clorados se tratan con tan alta concentración. Cuando el agua además contiene una cantidad apreciable de oxígeno disuelto, puede ocurrir corrosión. La dificultad puede evitarse o corregirse permitiendo que transcurra suficiente tiempo para que se produzca una reacción completa del compuesto de cloro y por descloración subsecuente.

5.2.4 OTROS GASES DISTINTOS DEL ACIDO CARBONICO Y EL OXIGENO DISUELTOS EN EL AGUA.

El ácido sulfhídrico, amoníaco, bióxido de azufre, y muchos otros gases pueden estar presentes en el agua. De tales gases, el sulfuro de hidrógeno y el cloro son los más importantes.

Aun cuando se encuentran ocasionalmente sulfuros en agua debido a la deterioración de compuestos orgánicos y de polución, estos compuestos ocurren con mayor frecuencia en agua de pozo. A causa de su olor desagradable, naturalmente corrosiva y muchas otras características que generalmente resultan perjudiciales, siempre es recomendable removerlas del agua que se usa para fines sanitarios, para procesos, para enfriamiento, etc.

Las zeolitas de tipo arenoso verde son dañadas por la aplicación continua de aguas que contiene sulfuros, se ha sabido que un contenido tan bajo, como 2 ppm de sulfuros, expresados como sulfuro de hidrógeno, destruyen el material zeolítico en unos cuantos meses; además, muchos metales son atacados rápidamente por concentraciones relativamente altas de sulfuros. Las aleaciones resistentes, tales como el acero inoxidable y el latón, que son efectivos en un medio oxidante, están sujetas a un ataque violento por el agua que contiene sulfuros y es imperativa la remoción de este constituyente si debe evitarse una deteriorización rápida del equipo. Los sulfuros presentes en el agua generalmente se deben a la polución con residuos industriales o de la descomposición de los sulfatos mediante la acción biológica.

El sulfuro de hidrógeno, aún en pequeñas cantidades, reacciona como ácido y puede ser sumamente corrosivo sobre el hierro aún en ausencia de oxígeno. Este gas, en presencia de oxígeno, puede

5.2.1 OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto en el agua tiene considerable efecto al acelerar la velocidad de corrosión. La velocidad a la que se efectúa la corrosión en aguas conteniendo una cantidad específica de oxígeno disuelto no será la misma en todos los casos. Esta condición está influida, por el pH del agua, los sólidos incrustantes en el abastecimiento de aguas, temperaturas y condiciones de servicio.

5.2.2 ACIDO CARBONICO

El ácido carbónico, H_2CO_3 , después del oxígeno es el gas disuelto más importante para acelerar la corrosión. Cuando está presente en pequeñas cantidades en el agua no tiene un efecto de corrosión apreciable debido a que, usualmente, hay suficiente alcalinidad en el agua para neutralizar su acidez. Un contenido relativamente alto del ácido carbónico en el agua o de bicarbonatos que se descomponen, y desprenden ácido carbónico debido al calor, pueden causar picaduras serias en los tubos, aun cuando no ocurra corrosión, el bióxido de carbono descargado puede causar una corrosión activa de las turbinas, baleros y sus equipos auxiliares.

Algunos abastecimientos de agua contienen ácidos orgánicos o compuestos orgánicos, los cuales se convierten en ácidos debido a las presiones y temperaturas. Estas sustancias son usualmente el resultado de la polución industrial del abastecimiento de agua aun cuando pueden deberse a drenajes de pantanos o esteros. Muchos de estos compuestos volátiles, son particularmente perjudiciales, causando una activa corrosión en las tuberías.

5.2.3 EFECTO DEL CLORO LIBRE

Se ha notado una corrosión rápida en forma de picaduras en válvulas y tubos próximos al punto de aplicación de soluciones de cloro.

Si el abastecimiento de agua se trata con dosis relativamente altas de cloro, puede existir un residual apreciable de este com-

5.1.6 INVESTIGACION DE POSIBLES FUENTES CONTAMINANTES

Para investigar las causas de la contaminación de los sistemas de agua potable, pueden utilizarse a veces colorantes que definen la trayectoria del agua bajo el terreno. La fluoresceína (llamada también uranina) es un colorante orgánico inofensivo que apenas se elimina por filtración a través de arena o de tierra, y que comunica al agua un franco color verdoso si se presenta en proporción superior a 17 mg por 1000 litros de agua. Se hace una solución de unos 450 gramos de fluoresceína y 450 gramos de sosa cáustica en 40 litros de agua. Si se sospecha que las aguas superficiales producen la polución de las de un pozo, se riega con un poco de solución la superficie del terreno, y se observa el color que toma el agua. Si es fácil que se produzca la polución del agua de un pozo o fuente por la acción de una letrina o un sumidero, se coloca suficiente cantidad de la solución en el agua de éstos para que tome un intenso color. Si se sospecha que la polución proviene de una cloaca, deben verterse en ellas algunos litros de la solución, cerca del punto en que se presente el escape o grieta.

Debe tomarse una muestra del agua antes de empezar el ensayo, para compararla con las que se tomen después. Si se presentan grandes cantidades de colorantes se percibirán fácilmente; pero para asegurarse de que no han penetrado en el agua pequeñas cantidades del mismo, deben compararse las muestras, colocándolas en dos vasos cilíndricos, incoloros y altos, y observando el color del agua, mirándola en el sentido de su máximo espesor.

5.2 CONTROL DE LA CORROSION

Es enorme la corrosión en los sistemas de agua industrial y municipal. Es fundamental para prevenir la corrosión, el control de las substancias que entran en contacto con las superficies metálicas.

En el caso de las calderas y su equipo auxiliar, las presiones y temperaturas altas, que no son tan elevadas en condiciones atmosféricas, influyen sobre la velocidad de aceleración de la corrosión.

Los gases no condensables desprendidos del agua de las calderas son probablemente la mayor causa sencilla de la corrosión de los tubos, domos, economizadores y sobrecalentadores de calderas.

La desinfección debe practicarse siempre que se hace una reparación o un corte en una tubería ya existente.

En las nuevas tuberías los ensayos bacteriológicos no satisfactorios se originan a menudo debido al empleo en las juntas, de neopreno o cáñamo contaminado. Para evitar esto debe adquirirse material esterilizado y protegerlo contra la contaminación antes de emplearlo. El desarrollo de las bacterias, crenotrix, etc., puede dar lugar a que el agua procedente de las cañerías viejas tenga sabor y olor. Este inconveniente ha sido eliminado destruyendo o -- por lo menos reduciendo en gran parte dichos desarrollos, mediante la aplicación del cloro, por medio de cloradores, a aquellas partes del sistema de distribución en que se presenta el problema. - Mientras se practica la inyección del cloro en las tuberías, se abren las bocas de incendio hasta que el agua que fluye presenta un intenso color amarillo al ensayarla con la ortotolidina.

5.1.5 IMPORTANCIA DE LA SUPERVISION

La vigilancia de todas las circunstancias y condiciones que pueden afectar la calidad de un suministro de agua tiene una gran importancia. Para certificar sobre las condiciones de un suministro, se requiere un favorable informe de la inspección oficial, aparte de que los ensayos bacteriológicos sean satisfactorios. Las razones que justifican la inspección son las siguientes: a) Determinar las condiciones que puedan ser orígenes potenciales de contaminación y de epidemias transmitidas por el agua. b) Cuando un ensayo bacteriológico del agua muestra la existencia de infección, es necesario una extrema vigilancia para descubrir la causa del peligro c) La inspección es necesaria para la interpretación apropiada de los ensayos bacteriológicos. Frecuentemente se presentan dificultades ante una simple muestra de agua de algún pequeño pozo destinado al suministro y que acusa la presencia de colibacilos. - Una inspección sanitaria puede comprobar que éstos no son probablemente de origen fecal y que una acción tan drástica como la suspensión del suministro no está justificada. Si se actúa precipitadamente acusando a un suministro de no cumplir las debidas condiciones, es muy fácil ~~provocar~~ críticas adversas. Las inspecciones sanitarias requieren juicio y conocimientos técnicos.

ra el Agua Potable; de la Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1972.

Para las características físicas, turbiedad y color, 5 y 10 unidades respectivamente, como tolerancia.

Para fierro y manganeso .3 y .05 ppm, respectivamente, como tolerancia recomendable.

5.1.4 DESINFECCION DE LAS TUBERIAS DE AGUA POTABLE

Al manipular y colocar las tuberías de agua, es inevitable que se contaminen las de nueva instalación. La contaminación de las tuberías puede producirse durante su almacenamiento en la calle, antes de abrir las zanjas; por fango pisoteado en el fondo de la zanja; por el agua contaminada que puede colarse en la misma; o por los zapatos, ropa, etc., que los trabajadores a menudo dejan en los extremos de los tubos y se olvidan de sacar por la mañana.

Antes de la desinfección, cada tramo de tubería debe limpiarse haciendo circular agua a una velocidad de 0.75 a 0.90 m/s. Esto no es suficiente, por sí solo, para eliminar todas las bacterias peligrosas. Evitará el que algunas queden protegidas contra la acción de agentes desinfectantes. Existen en el mercado equipos de cloración portátiles. También se emplean soluciones de hipoclorito cálcico, cal clorada y hipoclorito sódico de concentración conocida. La solución se introduce en la nueva tubería por su extremo superior mediante bombas de diafragma o de émbolo. Se vierte una cantidad suficiente para que la solución de cloro y agua mezclada en la tubería presente un residual, de acuerdo con el ensayo a la ortotolidina, de por lo menos 25 mg/l en el extremo opuesto del tramo en cuestión, y de por lo menos 10 mg/l después de 24 horas de contacto en el interior de la tubería. En el caso de que se den condiciones insalubres especiales, o de un agua de elevado pH, el tiempo de contacto debe alargarse a 48 ó 72 horas. Si por cualquier razón han de acortarse estos tiempos, debe aumentarse el cloro residual a 50 ó 100 mg/l. Transcurrido el tiempo de contacto se evacúa la tubería y se hace circular agua a su través hasta que, de acuerdo con los correspondientes ensayos, la calidad del agua sea bacteriológicamente comparable con la de la parte antigua del sistema de distribución.

Gram negativos que fermenten el caldo lactosado con formación de gas.

- b) Menos de doscientos (200) colonias bacterianas por centímetro cúbico de muestra, en la placa de agar incubada a 37°C por 24 horas.
- c) Ausencia de colonias bacterianas licuantes de gelatina, cromógenas o fétidas, en la siembra de un centímetro cúbico de muestra, en gelatina incubada a 20° por 48 horas.

5.1.3.4. CARACTERISTICAS COMPLEMENTARIAS

Las aguas tratadas para clarificación o ablandamiento, satisfarán los tres requisitos siguientes:

- a) La alcalinidad a la fenolftaleína calculada como CaCO_3 , será menor de 15 partes por millón, más 0.4 veces la alcalinidad total, con un pH inferior a 10.6.
- b) La alcalinidad de carbonatos normales será menor de 120 - partes por millón, para lo cual la alcalinidad total, en función del pH, estará limitada según la escala siguiente:

VALOR DEL pH	ALCALINIDAD TOTAL MAXIMA EXPRESADA EN CaCO_3
8.0 a 9.6	400 (ppm)
9.7	340
9.8	300
9.9	260
10.0	230
10.1	210
10.2	190
10.3	180
10.4	170
10.5 a 10.6	160

- c) La alcalinidad total no excederá a la dureza total en más de 35 mg. por litro o partes por millón, ambos calculados como CaCO_3 .

Para valores máximos admisibles sobre ciertas características, se sugiere, se consulten las Normas Internacionales pa

Nitrógeno (N) amoniacal, hasta	0.50 (ppm)
Nitrógeno (N) proteico, hasta	0.10
Nitrógeno (N) de nitritos (con análisis bacteriológico aceptable), hasta.....	0.05
Nitrógeno (N) de nitrato hasta	5.00
Oxígeno (O), consumido en medio ácido hasta	3.00
Oxígeno (O) consumido en medio alcalino, hasta	3.00
Sólidos totales de preferencia hasta 500, pero tolerán dose, hasta.....	1000
Alcalinidad total, expresada en CaCO_3 , hasta.....	400
Dureza total, expresada en CaCO_3 , hasta	300
Dureza permanente o de no carbonatos, expresada en CaCO_3 , en aguas naturales de preferencia, hasta.....	150
Cloruros expresados en Cl, hasta.....	250
Sulfatos, expresados en SO_4 , hasta.....	250
Magnesio, expresado en Mg, hasta.....	125
Zinc, expresado en Zn, hasta.....	15.00
Cobre, expresado en Cu, hasta.....	3.00
Fluoruros, expresados en F1, hasta.....	1.50
Hierro y magnesio, expresado en Fe y Mn, hasta.....	0.30
Plomo, expresado en Pb, hasta.....	0.10
Arsénico, expresado en As, hasta.....	0.05
Selenio, expresado en Se, hasta.....	0.05
Cromo, hexavalente, expresado en Cr, hasta.....	0.05
Compuestos fenólicos, expresados en fenol, hasta.....	0.001
Cloro libre, en aguas cloradas, no menos de:.....	0.20
Cloro libre, en aguas sobre cloradas, no menos de 0.20 ni más de.....	1.00

5.1.3.3. CARACTERES BACTERIOLÓGICOS:

El agua estará libre de germ^ones patógenos procedentes de contaminación fecal humana.

Se considerará que una agua está libre de esos gérmenes cuando la investigación bacteriológica dé como resultado final:

- a) Menos de veinte (20) organismos de los grupos coli y coliforme por litro de nuestra, definiéndose como organismo de los grupos coli y coliforme todos los bacilos no esporógenos,

agua dará origen a enfermedades; determinadas algas producen olores desagradables, dureza, corrosividad; los productos químicos originados por descomposición no se presentan ordinariamente en cantidad suficiente para producir preocupaciones.

No es evidente que el beber agua dura o, en general, las que contengan sales, de origen a la formación de cálculos en el riñón o en el hígado, y otros trastornos. Si se bebe agua a la que no se está acostumbrado, puede producir un efecto laxante, pero sólo temporalmente y sin que dé origen a lesiones.

Un agua potable es la que se puede beber sin peligro, de sabor agradable y útil para los usos domésticos. Un agua contaminada es la que contiene microorganismos y sustancias de origen industrial y otro, de modo que resulta inadecuada para su empleo normal. El término agua polucionada es sinónimo del anterior.

5.1.3 CALIDAD

Se considera agua potable a toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud, para lo cual deberá llenar los requisitos siguientes:

5.1.3.1 CARACTERES FISICOS:

De preferencia, la turbiedad del agua no excederá del número 10 (diez) de la escala de sílice, y su color del número 20 (veinte) de la escala platino cobalto. El agua será inodora, insabora y de temperatura agradable.

De no poderse cumplir con los requisitos anteriores, se admitirán aquellos caracteres físicos que sean tolerables para los usuarios, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde los puntos de vista bacteriológico y de sustancias disueltas.

5.1.3.2. CARACTERES MOLECULARES

Un pH de 6.0 a 8.0 para aguas naturales no tratadas.

Para aguas tratadas o sometidas a un proceso, se aplicarán las normas especiales:

Un contenido por millón de elementos iones y sustancias que a continuación se expresan:

ra el uso humano, especialmente en bebida, pues puede contener sales nocivas que actúan como venenos aunque sea lentamente o bacterias y parásitos que produzcan enfermedades y que no son apreciables a simple vista.

El abastecimiento de agua se debe obtener de la fuente más deseable que sea factible y se debe hacer un esfuerzo por evitar o controlar la contaminación por medios naturales, el suministro se debe proteger en forma adecuada por medio del tratamiento.

Se deben hacer inspecciones sanitarias del sistema de abastecimiento de agua, desde la fuente de abastecimiento hasta la conexión a la toma de consumidor, para localizar y corregir cualquier riesgo para la salud que pudiera existir. La frecuencia de estas inspecciones dependerá de la necesidad histórica.

Se proveerá capacidad adecuada para satisfacer las demandas máximas sin pérdida de presión y sin posibilidad de circulación inversa de aguas contaminadas desde la toma y tuberías del consumidor.

El agua absolutamente pura no se encuentra en la naturaleza. Cuando el vapor de agua se condensa en el aire y cae, absorbe polvo y disuelve oxígeno, anhídrido carbónico y gases. En la superficie del suelo recoge fango y otras materias inorgánicas. Serán pocas las bacterias que recoja el agua del aire, pero de la superficie del suelo captará muchas más, al correr por torrentes y ríos. También disolverá pequeñas cantidades de los productos de descomposición de la materia orgánica, tales como nitratos, nitritos, amoníaco y anhídrido carbónico. Las aguas superficiales retienen todas estas impurezas por tiempo indefinido, pero la parte de lluvia que se infiltra en el suelo pierde por filtración el fango y las bacterias que lleva en suspensión, así como, probablemente, los productos de descomposición, bien por combinación, bien por la acción de los vegetales. La pérdida de estas impurezas se contrae, sin embargo, por la disolución de varias sales que el agua, al circular, encontrará a su paso, dependiendo su cuantía y carácter de la longitud del recorrido subterráneo y de la composición de los estratos atravesados.

Conviene señalar que la presencia de ciertas bacterias en el

5.1 AGUA POTABLE

5.1.1. SISTEMA DE AGUA POTABLE

Se entiende por Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, al conjunto de obras de caracteres diferentes, que tienen como objeto proporcionar agua con determinadas características de calidad a un núcleo de población determinado.

5.1.2 GENERALIDADES

El agua es un elemento indispensable para la vida. Cubre casi cuatro quintas partes de la superficie terrestre y en el hombre representa aproximadamente el 70% del peso total de su cuerpo.

Pero la salud humana, depende no sólo de la cantidad sino también de la calidad del agua que utiliza. Según la Organización Mundial de la Salud, "casi la cuarta parte de las camas disponibles en todos los hospitales del mundo, están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua". Esto quiere decir que cuando el agua, por el contacto con la tierra o con el hombre ha modificado su composición, puede convertirse en un peligro y ocasionar grandes daños.

El agua de lluvia en su caída hacia la tierra, arrastra partículas de polvo y gases. Al caer, escurre en la superficie arrastrando materias orgánicas en descomposición, desechos de diversas naturalezas (humanos, animales, industriales, etc.), sales diversas y numerosas bacterias. Después formará arroyos que irán a los ríos, lagos y lagunas.

Puede infiltrarse en la tierra, arrastrando numerosos organismos, muchos de ellos nocivos. Si penetra a grandes profundidades, su paso a través de la tierra filtra purificándola, de modo que al incorporarse a las corrientes profundas, carece de materia orgánica y queda libre de bacterias, pero en cambio, puede recoger, si el terreno es rico en minerales, sustancias que la hagan inadecuada para las necesidades humanas.

El aspecto del agua no basta para conocer si es apropiada pa-

sentaría un costo de 2,050 dólares por año con un bombeo medio de 26 millones de galones al día, lo que da un costo por persona alrededor de 0.007 dólares al año. El costo de la dosis que se utilizó en Culemborg, Holanda, sería correspondiente más alto, cosa de 0.10 dólares por persona y año.

Los estudios para la posibilidad de agregar yoduro de sodio a los suministros públicos de agua se suspendieron repentinamente en los Estados Unidos, principalmente porque la aparición de la sal yodurada proporcionaba una solución satisfactoria al problema de la deficiencia de yodo. Sin embargo, es de notar que durante el período en que el tratamiento para el suministro público de aguas estaba en estudio, muchas personas pertenecientes a la profesión médica opinaron que el yodo no debía estar en concentración de 50 a 75 partes por mil millones en agua potable consumida por los que padecen bocio tóxico. La posibilidad de adquirir la sal yodurada salvó esta objeción, ya que permitía a los médicos advertir a sus pacientes de bocio tóxico que no consumiesen sal yodurada, restricción no posible con el agua yodurada. De todos modos, debe subrayarse que las dosis de yoduro de sodio que se utilizan en los abastecimientos públicos de agua producen concentraciones similares al contenido natural de yoduro de muchas aguas que no habían parecido objetables.

YODURACION EN EL ESTADO DE MICHIGAN. El suministro de agua se trató con yoduro de sodio durante dos semanas en agosto de 1923. La dosis era de 2 libras de yoduro de sodio por día para un abastecimiento de 3 millones de galones diarios, lo que da 0.079 p.p.m. de yoduro de sodio o 0.066 p.p.m. (0.066 g/1,000 litros) de yodo en forma de yoduro. El producto químico se aplicaba en el pozo de la bomba del sistema. No hay datos de la concentración del yoduro en el agua entregada ni de la incidencia del bocio en la comunidad después del tratamiento. No se repitió el tratamiento porque se recurrió a la sal yodurada como sal de mesa.

YODURACION EN CULEMBORG, HOLANDA. Según referencias recientes, el suministro de agua de Culemborg, que se extrae del río Rin, se trató con yoduro de sodio desde 1935 hasta 1942, pero el tratamiento fue interrumpido por causa de la guerra y no se reanudó hasta 1945. La dosis escogida fue de 50 partes por mil millones, equivalente a 0.075 mg en los 1.5 litros de agua potable que se supone consume al día cada habitante. Tomando en cuenta que el tratamiento era continuo, esta dosis muy pequeña dió como resultado un total de cerca de 27.4 miligramos por persona por año, es decir, alrededor de diez veces la cantidad total que se administró en Rochester. El porcentaje de bocio, en 1935, entre los niños de 4 a 7 años de esta comunidad, era de 37 por ciento, con 11 por ciento considerado como casos graves. La incidencia se redujo a 18 por ciento en 1937, a 15 por ciento en 1939 y a 12 por ciento en 1941; y los casos de gravedad fueron eliminados. Como consecuencia de la interrupción en el tratamiento, la incidencia volvió a alcanzar 41 por ciento en 1945.

4.15.3 COSTOS DE LA YODURACION

Durante los experimentos efectuados el costo del yoduro de sodio era de 4.35 dólares la libra, lo que daba un costo total de alrededor de 2,900 dólares al año, o cosa de 0.01 dólares por persona y año. Si este tratamiento se hubiera aplicado durante todo el transcurso del año para proporcionar un contenido uniforme de 0.01 mg. de yoduro en cada 2 litros o 0.005 p.p.m. la dosis de yoduro de sodio hubiera sido de 0.0059 p.p.m. o alrededor de 0.05 de libra por millón de galones (0.006 Kg por millón de litros), que repre-

con yoduro de sodio fue iniciado en abril de 1923. El objeto del programa de tratamiento era añadir yoduro al agua para dar 0.1 mg por persona al día durante dos períodos de 14 días cada año, lo que daría un consumo total de 2.8 mg por persona al año. La dosis de yoduro de sodio fue, al principio de 7.26 Kg al día, o sea -- 0.074 p.p.m. por un período de dos semanas equivalente a 0.063 p.p.m. de yodo con yoduro. Mas tarde, el tratamiento se repitió por 21 días en la primavera y 21 días en el otoño hasta 1932.

El contenido de yoduro del abastecimiento de agua cruda era de 1 a 2 partes por mil millones. Se colgaba una bolsa de yoduro de sodio en la corriente de agua que entraba a un depósito igualador, donde ocurría la mezcla y la difusión. Se encontró que el agua tratada tenía un aumento de contenido de yoduro de 2 a 20 partes por mil millones durante los primeros 14 días un contenido uniforme de 20 partes durante tres días y un contenido en descenso, de 20 a 2 partes durante 30 días. En el transcurso del otoño siguiente, el contenido, después del tratamiento, aumentó hasta un máximo de 50 partes por mil millones (50 g por millón de litros) durante 6 días, porque el producto químico se utilizó durante 3 semanas en vez de 2.

En los años siguientes, se agregaron 7.26 Kg de yoduro de sodio cada día durante la primera semana y un día sí y otro no en 14 tratamientos adicionales, lo que daba un total de 152.46 Kg. Esto produjo una concentración más baja, 30 g/millón de litros, pero -- dio concentración de 20 a 30 gramos durante 14 días y de más de 4 gramos por un total de 43 días. Se hicieron dos tratamientos de 21 aplicaciones durante dos períodos cada año. Un análisis del -- agua así obtenida indicó que cada persona recibía alrededor de 3.1 mg. de yodo cada año, un valor bastante cercano a la meta de 3.6 mg por persona y año.

La información relativa a los efectos de este tratamiento sobre la incidencia del bocio simple es escasa y está limitada. Los exámenes médicos indicaron que 7 por ciento de los niños en edad escolar tenían tiroides crecidas antes de la investigación, lo que daba un total de 3,844 casos observados en 1923. Este número bajó de 1,766 en 1924 y aumentó de nuevo hasta 2,010.

nito de 1 entre 7 a 1 entre 500 niños. Otros resultados indicaron que, mientras 87 por ciento de los niños de cinco años en Berna tenían en 1924 la tiroides crecida, esta proporción bajó a 40 por ciento en 1941. Asimismo, la sordomudez asociada con déficiencia tiroidea bajó de 12 a 17 por 10,000 niños en 1922 a 4.3 por 10,000 en 1925.

En ningún caso se notaron efectos secundarios. En vista de esta experiencia, los productores de sal de Michigan empezaron a distribuir la sal yodurada.

El empleo universal de la sal de mesa hace que este método de distribución resulte a la vez económico y generalizado, y en nuestros días el uso de la sal yodurada es muy común hasta en regiones exentas de bocio.

La adición de pequeñas cantidades de yoduro de sodio en el suministro público de agua fue sugerida desde los días de Chatín, pero este tratamiento no fue aplicado hasta 1923. Comenzó en la ciudad de Rochester, estado de Nueva York. El propósito fue evitar el uso de tabletas o bombones yodurados, que podían ser adquiridos solamente por grupos selectos, evitar la impresión que el yodo era una medicina y poner el yodo a disposición de la población entera, mientras se organizaba la distribución y el uso generalizado de la sal yodurada.

La cantidad de yodo en las aguas naturales varía considerablemente, desde 1 a 18,000 partes por cien mil millones (0.01 a 180 - partes por mil millones). No se han registrado efectos nocivos por el consumo de aguas naturales que contengan la mayor concentración de yodo entre los que padecen de bocio tóxico.

El promedio de ocurrencia del bocio es de 15 a 50 por 1,000 habitantes en regiones donde el agua potable contiene de 0.01 a -- 0.10 partes de yodo por mil millones de agua y es de menos de 1 -- por 1,000 habitantes donde el contenido de yodo es de 1.4 a 10.0 por mil millones, es decir de 0.0014 a 0.01 p.p.m. El valor medio de 0.005 p.p.m. se considera generalmente como la concentración adecuada mínima, lo que da 0.01 miligramo por persona por día.

4.15.2 PRIMERAS APLICACIONES DE LA YODURACION

YODURACION EN EL ESTADO DE NUEVA YORK. El tratamiento de agua

4.15 YODURACION

4.15.1 HISTORIA DE LA YODURACION

Se sabe que la deficiencia en yodo fomenta el crecimiento de la glándula tiroides en forma de bocio simple, y que la administración de pequeñas cantidades de yodo es una profilaxis efectiva contra este bocio.

Ya hacia el año 2000 A.C. los chinos sabían que el bocio simple se evitaba con el consumo de algas marinas o de sal marina. La frecuencia del bocio entre las personas que habitan en tierras montañosas o en altiplanicies es conocida desde hace muchos años.

En 1850, Chatin empezó a publicar los resultados de sus investigaciones sobre la distribución del yodo y expresó su opinión de que el bocio endémico se debe a la falta de yodo en los alimentos y en el agua. Fue el primero en recomendar la adición de yodo a las aguas potables y el consumo de alimentos provenientes de regiones libres de bocio. Este descubrimiento fue confirmado más tarde.

En 1907, Marine y Lenhart demostraron que el yodo era necesario para el buen funcionamiento de la glándula tiroides y que si el yodo almacenado en la glándula bajaba a menos de 0.1 por ciento, los animales bajo observación empezaban a mostrar un crecimiento de la glándula, que volvía a ser normal cuando se daba yodo a los animales. La relación entre la distribución del yodo en el agua potable y la existencia del bocio fue demostrada en 1923-31, y su estudio comprobó que el bocio existía en regiones dispersas. Más o menos al mismo tiempo se determinó que el bocio simple podía ser prevenido mediante la administración de yodo.

La primera prueba en gran escala sobre profilaxis con yodo se realizó en Akion, estado de Ohio, donde se administró en pequeñas dosis yoduro de sodio a escolares una vez al día durante diez días, dos veces al año, en un lapso de investigación de treinta meses. Se obtuvieron resultados beneficiosos notables. Más tarde, se hicieron bombones de chocolate con yodo y su empleo se divulgó en las escuelas de buen número de estados.

El empleo de la sal yodurada fue iniciado en Suiza, en 1922 con 5 mg de yoduro de potasio agregados a cada kilo de sal. De esta manera se redujo en dos cantones la incidencia del bocio congé-

representa o no un peligro para la salud? Por otra parte, hay que reconocer que tal argumento no tendría importancia en el caso de la producción de agua para uso industrial, incluso agrícola.

La congelación por compresión de vapor ha llevado a la resolución de problemas tecnológicos delicados que han debido obtener una respuesta satisfactoria, ya que estamos en la fase de la producción. En su contra tiene sobre todo el hecho de que la energía que hay que suministrar debe encontrarse esencialmente en forma noble, ya que debe aparecer en el proceso en forma mecánica (compresor). Por el contrario, el agua obtenida no presentará ningún riesgo de contaminación.

La congelación por absorción de vapor presenta todas las ventajas de la congelación por compresión de vapor, pero además, desde el punto de vista tecnológico, no necesita la puesta en circuito de los enormes volúmenes de vapor que exige la compresión de vapor, y desde el punto de vista energético puede funcionar con energía barata.

En fin, los tres procedimientos, en razón de la temperatura relativamente baja de su funcionamiento y de la desgasificación sufrida por el agua de alimentación, eliminan en su mayor parte las dificultades debidas a la incrustación del sarro y a la corrosión, dificultades que adquieren gran importancia en las destilaciones térmicas.

Sin embargo, los tres procedimientos no pueden ser considerados como salidos por completo de la fase experimental, y no se puede tratar de dar preferencia a uno u otro en forma definitiva a partir de balances industriales serios teniendo en cuenta no sólo las inversiones, sino también los gastos de mantenimiento y de funcionamiento. De todos modos, parecería que los tres procedimientos no se prestan por el momento, ni incluso en la fase de los proyectos, a la instalación de unidades de gran capacidad; el límite de la capacidad unitaria oscila entre 600 y 800 m³/día para el isobutano y la absorción, y 250 m³/día para la compresión de vapor. Estas limitaciones son de orden mecánico y tienen su origen en los dispositivos de compresión de vapor (de agua o isobutano) y en los dispositivos de traslación y de separación de los cristales y de la salmuera.

do confirmados todavía a escala industrial, y sería más prudente atenerse a un consumo en energía global del mismo orden que para la congelación a isobutano o para la compresión de vapor, es decir, 7 a 8 kWh/m³, lo que ya es muy bajo. Pero la gran ventaja de la congelación directa por absorción reside en el hecho, ya señalado, de que estos 7 a 8 kWh pueden ser suministrados, en su mayor parte, en forma de una energía calorífica a un nivel relativamente bajo.

4.14.6.5 COMPARACION DE PROCEDIMIENTOS

Después de este examen de los diversos procedimientos de desalación por congelación se puede considerar la aplicación de técnicas clásicas de fabricación de hielo seguido de una fusión con una recuperación parcial de las frigorifas, como enteramente fuera de uso.

Entre los otros tres procedimientos:

- congelación indirecta por isobutano;
- congelación directa con compresión de vapor;
- congelación directa con absorción vapor;

ninguno ha tomado ventaja decisiva sobre los otros.

Los consumos energéticos específicos son sensiblemente los mismos para los tres; tal vez existe una esperanza de ventaja para el procedimiento de absorción.

La congelación por isobutano presenta la gran ventaja de necesitar tan sólo un aparato sencillo (en lo que concierne al circuito de agua) que se encuentra a una presión próxima a la presión atmosférica. Por otra parte, los problemas planteados por la compresión del butano no son nuevos y no plantean problemas tecnológicos delicados.

En contrapartida de estas ventajas encontramos un inconveniente importante: la contaminación del agua producida por indicios de refrigeración auxiliar. Existe también un problema sanitario al que no se ha dado respuesta definitiva. Incluso si el agua producida responde, después de su paso sobre carbón activo, a las normas administrativas en vigor, habrá siempre un interrogante en la mente del consumidor: ¿en qué medida la ingestión permanente de agua que lleva ciertamente en su seno microindicios de isobutano

ción, desempeña así un papel análogo a la aspiración producida por el compresor de vapor en el procedimiento Zarchin.

La solución diluida de bromuro de litio que resulta de la fijación de vapor de agua es bombeada hacia un regenerador, que es a su vez un evaporador que recibe calorías del exterior y que produce, por una parte, salmuera concentrada de bromuro de litio, que es enviada hacia el absorbedor, donde previamente es enfriada por una parte de agua producida (lo que conduce a la recuperación de las frigorías), y por otra parte, agua condensada que es enviada hacia el fluente de agua dulce después del paso por la cámara de fusión.

El interés del procedimiento resulta de la baja temperatura en la que se puede proceder a la regeneración de la salmuera de bromuro de litio y que permite alimentar el regenerador por medio del vapor a baja presión (cercana a una atmósfera). Volvemos a ver -- aquí el interés que presentan los multiflash de destilación con relación a los destiladores por compresión de vapor. A consumo energético igual o incluso superior, el precio de la energía necesaria es sensiblemente más bajo en razón del inferior nivel de calidad de esta energía.

El procedimiento de congelación por absorción tropieza también con problemas de tecnología en razón de la baja presión que reina en la cámara de congelación, pero se puede comprobar que no necesita un compresor de gran caudal como es el caso del procedimiento precedente; por consiguiente, es más sencillo de construcción y de explotación. Las estimaciones creen que la unidad de producción debe ser de unos 600 m³/día y que un solo agente debe ser suficiente para dirigir una fábrica que produce alrededor de 2000 m³/día.

Esto puede compararse a los 1000 m³/día de la fábrica israelí de Eilat realizada por yuxtaposición de cuatro unidades de 250 m³/día de capacidad cada una.

De todas maneras, distamos mucho de las capacidades previstas para las unidades que deben constituir por yuxtaposición fábricas de desalación de gran capacidad.

Resultados energéticos de las estaciones piloto han conducido a estimaciones de consumo en energía tan bajas como 1,5 kWh de energía mecánica y 0,1 kg de vapor a baja presión por metro cúbico de agua producida. Sin embargo, tales resultados estimados no han si

por termocompresión. Pero, sin embargo, hay que hacer notar que la compresión en el caso de congelación sólo actúa sobre 1 a 2 mm de mercurio; no se trata, pues, de un compresor propiamente dicho, sino más bien de un ventilador con hélice que mueve un gran volumen con una débil diferencia de presión. Tecnológicamente hablando, hay muy poca analogía entre la destilación por termocompresión y la congelación-fusión por compresión de vapor, a pesar de que desde el punto de vista termodinámico existen muchos puntos comunes.

Así comprendemos por qué el procedimiento Zarchin, que existe desde hace unos veinte años, ha necesitado tanto tiempo para vencer dificultades tecnológicas que residen en las cuestiones de impermeabilidad y de desgasificación del agua de alimentación.

Se han dejado entrever pocas informaciones válidas concernientes al precio de coste real del procedimiento y las inversiones necesarias al metro cúbico por día producido. Por el contrario, se ha hecho una valoración de alrededor de 7 a 8 kWh de energía por metro cúbico de agua producido.

C. La congelación directa por absorción del vapor de agua ha sido estudiado en detalle por Carrier Corp. Y ha llevado, bajo la égida del Office of Saline Water, a una estación piloto de 56 m³/día y una estimación detallada para una instalación de 1900 m³/día.

Como en los procedimientos precedentes, el agua desgasificada y refrigerada en un intercambiador que recibe por otra parte el efluente desalado y la purga de salmuera residual, es introducida en una cámara de congelación en la que reina una presión muy baja, de alrededor de 3.3 mm de mercurio ($4 \cdot 10^{-3}$). La evaporación del agua que resulta de esta baja presión conduce a la formación en cristales de hielo de casi la mitad del caudal inicial. La mezcla de salmuera y de hielo es bombeada hacia una columna de separación y de lavado a contracorriente, y más tarde volvemos a encontrar los circuitos de fusión y de evacuación similares a los que hemos visto con los procedimientos de congelación precedentes.

La absorción del vapor de agua producido en el transcurso de la evaporación en la cámara de congelación se obtiene por medio de bromuro de litio. Esta absorción, que es indispensable para el mantenimiento del gran vacío que debe reinar en la cámara de conge-

ha sido construido bajo la égida del Gobierno israelí y con la participación de la sociedad Fairbanks-Whitney, en Eilat, en el mar Rojo, extremo sur de Israel. Esta fábrica produce agua dulce conteniendo 500 mg/l de sales a partir de un agua de mar particularmente salada: 42 gramos por litro.

El agua de mar de alimentación, como en todo procedimiento -- térmico, es refrigerada térmicamente en un intercambiador en calor donde el agua dulce producida y la salmuera antes de la purga le devuelven sus frigorías excedentes.

El agua refrigerada es introducida en forma muy dividida en finas gotitas, en la cámara de congelación que se encuentra sometida al vacío por aspiración de un compresor de vapor de agua.

Así se obtiene una nube de cristales de hielo puro y de gotitas de salmuera, que es dirigida hacia un separador lavador a contracorriente, que recibe un débil retorno de agua dulce. Como en los procedimientos precedentes, los cristales puros son dirigidos en seguida hacia una cámara de fusión. La fusión es obtenida con ayuda del vapor de agua comprimido que sale del compresor, creando el vacío en la cámara de congelación. Este vapor se condensa y se encuentra recuperado como agua pura.

Teniendo en cuenta las pérdidas inevitables de calor y la diferencia de las temperaturas de congelación del agua pura y del agua salada, la recuperación de las frigorías no es completa,

es indispensable utilizar un circuito refrigerador auxiliar cuyo condensador participa en la recuperación de las frigorías de fusión.

Una característica de este procedimiento es el vacío muy grande en que se encuentran algunos circuitos.

La cámara de congelación es mantenida a un vacío de unos tres a cuatro milímetros de mercurio (4×10^{-3} at); la cámara de fusión se encuentra a un vacío de alrededor de cinco milímetros de mercurio -- ($6,5 \times 10^{-3}$ at), que es la tensión del vapor saturante a la temperatura de fusión).

Otra característica es el importante volumen de vapor que se trata de manipular: $200\ 000\ m^3$ de vapor por tonelada de agua dulce producida. Se puede comparar esta cantidad a los $1700\ m^3$ de vapor correspondientes que se manipulan en el procedimiento de evaporación

recuperación en el separador "líquido-gas" final es también diferente de las dos primeras. En el circuito de butano se pueden, pues, prever varios compresores diferentes.

Las ventajas principales del procedimiento de congelación por medio del isobutano resultan del hecho de que la temperatura de ebullición de este cuerpo es cercana a la temperatura de congelación del agua a la presión atmosférica: respectivamente -0.5°C y 0°C , y de la diferencia muy sensible de densidad de los líquidos agua e isobutano: 1 y 0,6. En estas condiciones, el aparato de contacto de separación es muy sencillo y, por consiguiente, mucho menos caro para construir que el aparato de congelación de fluido auxiliar clásico. Sin embargo, hay un inconveniente que deriva del débil calor latente de vaporización del isobutano (90 kcal/kg), lo que nos lleva a recuperar un caudal de isobutano sensiblemente igual al del agua dulce producida.

Es todavía bastante difícil evaluar exactamente el valor de competencia del procedimiento que aún no ha salido de su fase experimental. No obstante, se sabe que el consumo energético es relativamente débil: de alrededor de 10 kWh/m^3 de agua producida, o incluso de 7 a 8 kWh solamente.

Queda todavía por conocer la inversión y los gastos de mantenimiento, así como la valoración de la posibilidad de agrandar considerablemente la capacidad de producción de otro modo que yuxtaponiendo unidades de alrededor de setecientos cincuenta metros cúbicos.

4.14.6.4. CONGELACION DIRECTA

A. Se designa por procedimientos de congelación directa aquellos en que el fluido frigorígeno es la misma agua salada, es decir, en que las frigorías de congelación necesarias para la obtención de los cristales de hielo puro son suministrados por evaporación parcial del agua salada que se trata de congelar. Esta evaporación parcial del agua salada puede ser obtenida ya sea por un dispositivo de compresión, ya sea por un dispositivo de absorción de vapor de agua.

B. La congelación directa con compresión de vapor de agua ha sido estudiada y puesta a punto en Israel por Zarchin. Una instalación de desalación por congelación de una capacidad de $1000 \text{ m}^3/\text{día}$

La obtención de grandes cristales homogéneos es favorecida por un enfriamiento preliminar del agua antes de la introducción del isobutano.

El agua de mar, después de la clarificación (en un filtro, por ejemplo) es desgasificada al vacío, lo que permite obtener un hielo más denso (sin burbuja) y elimina el peligro de corrosión, con el oxígeno y el gas carbónico disueltos.

Después de haber atravesado el condensador de un compresor auxiliar, es enfriada a una temperatura cercana a $1,5^{\circ}\text{C}$ por cambio de frigorías en un intercambiador que utiliza también un líquido inter cambiador intermedio no miscible con el agua dulce producida; (que está a baja temperatura, ya que resulta de la fusión de los cristales de hielo puro) ni con la salmuera que resulta de la congelación parcial.

El agua de mar enfriada es enviada seguidamente a una cámara de congelación donde se hace el contacto con el butano líquido, que al evaporarse transforma una parte del agua en cristales de hielo puro. Estos cristales, a la salida de la cámara de congelación son separados de la capa límite de salmuera por centrifugación con lavado por un ligero retorno de agua pura.

La salmuera que resulta de la centrifugación es enviada hacia un segundo tramo de congelación que funciona a temperatura ligeramente más baja. La salmuera que resulta de la segunda centrifugación es enviada entonces a la purga después de haber atravesado el intercambiador de calor destinado a enfriar el agua de alimentación.

Los cristales de hielo centrifugados son trasladados hacia una cámara de fusión que sirve de condensador a los vapores de isobutano que provienen de los compresores. En la parte baja de la cámara se recibe el butano líquido, que es enviado al ciclo de congelación, y el agua pura. Esta agua pura, después de haber atravesado el intercambiador de calor que enfría el agua de alimentación, es enviada a los usuarios después de haber atravesado, por una parte, un separador "gas-líquido" que la desembaraza, por vacío parcial, de las pequeñas cantidades de butano que ha podido arrastrar, y por otra, un filtro de carbón activo que fija los últimos vestigios de isobutano y da el agua un gusto agradable.

El butano se separa del agua en el momento de la congelación - con temperaturas diferentes en los dos tramos. La temperatura de

Las estimaciones del costo son por lo tanto relativamente fáciles,
- energía necesaria; 39 kWh/m³;

Esta proviene sobre todo de la energía consumida por los auxiliares: extracción por bomba, separación del hielo, etc. En el ciclo de Hendrickson la energía consumida por los compresores constituye los 3/4 de la energía total; $0,75 \times 39 = 29,5$ kWh.

Esta aplicación sin matices de la técnica clásica en el problema de desalación conduce a resultados que podían ser considerados como interesantes hace unos diez años, cuando los destiladores costaban lo mismo en inversión, poco más o menos, y consumían más energía por metro cúbico; pero se puede afirmar ahora que han sido rebasados por completo. Además, los compresores clásicos de los circuitos de refrigeración exigen energía doble, lo que los coloca en una posición de inferioridad cierta frente a los multiflash térmicos que funcionan con energía de bajo nivel.

B. Una tentativa interesante de renovación de la técnica de congelación indirecta reside en la utilización de fluidos refrigerados no miscibles en el agua puestos directamente en contacto con el agua salada.

La congelación indirecta que utiliza el isobutano como refrigerador auxiliar ha sido objeto de activas investigaciones en Estados Unidos, y en Japón, en particular bajo el impulso del Office of Saline Water.

La congelación indirecta (pero en contacto directo) por isobutano no difiere fundamentalmente del procedimiento de congelación clásica en lo que concierne el ciclo de congelación por medio de un fluido auxiliar. Sólo en este caso el butano líquido es evaporado directamente en el interior del agua que hay que congelar, lo que mejora sensiblemente el rendimiento evitando el empleo de superficies metálicas intercambiadoras de calor de los circuitos clásicos; esto suprime ipso facto buena parte de los problemas vinculados a estas paredes, y permite aumentar considerablemente las superficies efectivas de traslación de frigorías.

Una de las características interesantes del procedimiento reside en la formación de cristales de gran dimensión (0,8 a 1,1 mm) y de granulometría muy homogénea. La separación por centrifugación es, pues, posible y ha sido adoptada por una fábrica piloto de 750 m³/día.

una purga situada en la parte inferior es susceptible de evacuar el conjunto del líquido admitido en la columna.

Por diferencia de densidad, como la velocidad de desague de arriba abajo del agua de lavado y de la salmuera purgada es suficientemente débil para no crear una fuerza de arrastre de los cristales hacia abajo, los cristales suben a contracorriente. Durante su trayecto hacia la parte superior, su capa límite queda purgada, por difusión molecular, de sus sales, las cuales son despedidas por el agua de lavado. A su llegada a la parte superior un rastrillo dirige los cristales desprovistos por completo de todo rastro de salmuera hacia la cámara de fusión.

Si la altura de la columna de lavado se reduce o si el caudal del agua de lavado se disminuye, la capa límite no se encuentra purgada por completo y el agua que sale de la cámara de fusión quedará ligeramente mineralizada. Teóricamente, o por la experiencia, se pueden establecer las relaciones que existen entre las dimensiones de las columnas, los tiempos de retención y la cantidad del agua de lavado necesaria para obtener una mineralización determinada del agua producida, en función de la mineralización del agua salada inicial, y de la fracción congelada.

En la práctica se ha llegado a limitar la fracción de la producción de agua dulce utilizada para el lavado a 5%, en el caso del agua de mar y para una mineralización determinada inferior a 500 mg/l, lo que corresponde a una potabilidad satisfactoria.

Se emplean otros procedimientos para obtener la separación; por ejemplo, la centrifugación en Japón y la fusión parcial seguida de una desecación (en Francia por Trépaud). Pero actualmente el método de la columna del lavado parece ser el más eficaz, a menos que se pueda estar absolutamente seguro de obtener cristales de hielo de 1 mm como mínimo. En este último caso la centrifugación se utiliza con éxito.

4.14.6.3 CONGELACION INDIRECTA

A. Designamos procedimientos de congelación indirecta aquellos en que el fluido frigorífero es distinto del agua que se congela.

Nos hallamos ante un aparato clásico, excepto en lo que concierne la parte relativa a la separación y lavado del hielo producido.

Para concretar, el problema particular que hay que resolver es el de una extracción de cristales de hielo secos del interior de un líquido que suministre estos cristales.

C. Una primera comprobación se ha hecho en lo concerniente a la forma de los cristales. Los arrastres de salmuera son más débiles con cristales de forma amontonada: cúbica o esférica. Hay que evitar, pues, los cristales en agujas o en discos que por otra parte, son las formas obtenidas espontáneamente si no se toman precauciones especiales. La superficie total del hielo formado es también un factor importante; su reducción es beneficiosa. Por consiguiente es necesario intentar un aumento de la dimensión de los cristales de hielo. Numerosos estudios han sido efectuados y siguen haciéndose en lo referente a la velocidad de crecimiento de los cristales de hielo y su dimensión final.

Una velocidad elevada de formación de cristales permite disminuir la dimensión de las cámaras de congelación, pero de las investigaciones que se llevan a cabo parece resultar que las condiciones que favorecen una congelación rápida son contrarias a las que conducen a cristales de gran dimensión. La concentración del agua sometida a la congelación, el gradiente de temperatura, la dirección relativa de la traslación de frigorías y del traslado del agua, el valor de la turbulencia del desague son otros tantos factores que intervienen en la determinación de la velocidad de congelación como en la de la dimensión y de la forma de los cristales obtenidos.

Se ha comprobado que un fuerte campo magnético favorecía la formación de cristales de gran dimensión. Es éste un hecho experimental evidente, pero que todavía no ha sido explicado satisfactoriamente.

D. Después de varios años de investigaciones en laboratorios y estaciones piloto de diversos países, y con la restricción de los resultados no publicados que conciernen a este campo que sigue estando en plena actividad, parece que por el momento el procedimiento de separación que prevalece es el de la separación del hielo del interior de la salmuera de los cristales por medio de una parte del agua dulce producida.

En el procedimiento Carrier, por ejemplo, se admite la mezcla de cristales y de salmuera en la parte baja de una columna que recibe simultáneamente en su parte superior agua pura, llamada de lavado;

de congelación, por un dispositivo apropiado, el hielo es separado de la salmuera. El hielo es dirigido hacia una cámara de fusión F que sirve de refrigerador del circuito frigorífico general, que comprende un compresor P_p y el dilatador D_p . Las frigorías de fusión son así reinyectadas en este circuito frigorífico.

Como la recuperación de las frigorías no se hace con un rendimiento de 100%, es indispensable utilizar un circuito frigorífico secundario (P_s y D_s) que suministra al mantenimiento del régimen de producción el complemento de frigorías necesario. La refrigeración de este circuito secundario se hace por una aportación exterior de agua. Un intercambiador de calor permite recuperar parcialmente las frigorías de la salmuera y del agua pura obtenida.

4.14.6.2 SEPARACION Y LAVADO DE LOS CRISTALES DE HIELO

A. La tecnología de la congelación, como era el caso para la -- destilación, estaba ya bien desarrollada cuando se pensó aplicarla a la desalación de las aguas.

Sin embargo, todos los procedimientos imaginados han chocado -- con una dificultad mayor.

B. Si es bastante fácil formar cristales de hielo puro, es mucho más difícil separarlos de la salmuera residual que los baña. Este hecho es tanto más importante cuanto que es necesario separar los microcristales desde su formación para que queden puros, en su interior, de toda contaminación salina.

El problema de la desalación por congelación se subdivide, pues, en dos partes distintas: por un lado, la creación de un ciclo de con gelación-fusión de la más alta eficacia posible; por otro, la separa ción continua de cristales muy finos y de densidad poco diferente -- del interior de una salmuera enfriada.

Este problema de separación se resuelve fácilmente mientras las exigencias siguen siendo relativas: por centrifugación, filtración, levigación, etc. Por el contrario, es muy difícil desembarazarse de la capa límite de salmuera pegada a los microcristales. Si la salmuera inicial es muy salada (por ejemplo, agua de mar), ocurre que no se puede obtener una desalación suficiente por medio de una sola operación de congelación-fusión.

T_f = temperatura fuente fría °K;

T_{ch} = temperatura fuente caliente °K.

Por consiguiente, el funcionamiento de la máquina frigorífica exigirá una cantidad de energía tanto más grande cuando más elevada sea la temperatura de la fuente caliente. Se puede, pues, afirmar - que como por otra parte todo queda igual, el procedimiento de desalación será más cómodo de utilizar, ya que para el enfriamiento se dispondrá en abundancia de los condensadores de la máquina frigorífica, con un fluido de temperatura relativamente baja. Su empleo - será más apropiado en las costas de mares fríos donde existen cantidades ilimitadas de agua de mar a baja temperatura, y particularmente mal adaptadas a las regiones interiores áridas y calientes, donde el enfriamiento sólo puede ser asegurado por aire caliente.

La energía necesaria para el bombeo del fluido de enfriamiento no puede ser despreciado; incluso puede ser preponderante en casos poco favorables. Los 47 kWh indicados anteriormente para congelar 1 m^3 de agua muy salada, corresponden al caso de una instalación frigorífica dispuesta a la orilla del mar, donde el agua estaría disponible en cantidad ilimitada a 18°C .

La misma instalación exigiría 157 kWh/t de hielo producido si tuviera que tratar aguas a 49°C . Y para producir una tonelada de hielo sería necesario manipular por bombeo 66 m^3 de agua por tonelada de hielo contra 35 en el caso del agua de mar a 18°C .

Estas dificultades indicadas conciernen a la congelación (para la que las cosas no son tan fáciles como se podría creer a primera vista); digamos seguidamente que la máquina frigorífica, como la termocompresión en lo que concierne a las calorías de condensación, permite la recuperación de una fracción de las frigorías mediante el enfriamiento del condensador de la máquina frigorífica por medio del agua de fusión. No es, pues, absurdo admitir, en condiciones favorables, consumos energéticos del orden de 30 kWh/m^3 de agua desalada - producida en un ciclo de efecto simple congelación-fusión, lo que si gue siendo muy bajo y casi comparable a los mejores resultados obtenidos en los aparatos de termocompresión.

El agua que se ha de tratar es admitida en una cámara de congelación donde sufre una congelación parcial; los pequeños cristales de hielo formados son de hielo puro. En la parte baja de la cámara

aumenta las posibilidades de formación de incrustaciones.

4. Para el control eficaz de un proceso de IE de desmineralización de agua es indispensable contar con personal muy calificado.

4.14.6. DESALACION POR CONGELACION

4.14.6.1 GENERALIDADES

La desalación por congelación no ha dado todavía lugar a aplicaciones industriales comercializadas. Sin embargo, se realizan acerca de ello estudios muy activos, tanto en laboratorio como en estaciones piloto. Y por consiguiente es muy posible que en un futuro próximo nos encontremos en presencia de realizaciones utilitarias. En cierto sentido congelación y vaporización son procedimientos de desalación similares: a partir de la fase líquida salada se obtiene una fase diferente (gaseosa o sólida) desprovista de sales. Un nuevo cambio de fase inversa proporciona el líquido desalado. La congelación ha llamado la atención en razón de la debilidad relativa del calor latente de congelación comparado al de la vaporización:

- congelación: 80 cal/g a 0°C;
- vaporización: 540 cal/g a 100°C

Así, una operación de efecto simple que produce cristales de hielo puro exigiría siete veces menos energía que la vaporización de una cantidad equivalente de agua.

Se podría esperar que una congelación de efecto simple fuera energéticamente comparable a una destilación de efecto múltiple.

Por otra parte, en la práctica industrial existen aparatos que producen hielo a partir del agua de mar para un consumo de energía del orden de 47 kWh/m³.

Sería, pues, suficiente fundir este hielo para obtener agua de salada al precio de un consumo energético del mismo orden que el exigido por aparatos industriales de buen rendimiento por compresión de vapor.

Las frigorías necesarias para la congelación se obtienen por utilización de una máquina frigorífica cuyo rendimiento termodinámico viene dado por la expresión.

$$R_{TH} = \frac{T_f}{T_{ch} - T_f}$$

emplear tan sólo agua (en lugar de álcali) para regenerar el lecho aniónico, si el agua que se desea desmineralizar tiene un elevado contenido en sulfatos. Sin embargo, como se necesitan volúmenes relativamente elevados de agua para esta regeneración, es probable que esta variante especial, aunque interesante, no encontrará una aplicación demasiado extensa en el campo del tratamiento de las aguas de abastecimientos comunitarios. Por otra parte, si se utiliza el mismo proceso con cantidades relativamente pequeñas de cal o amoníaco, la de agua necesaria para la regeneración se reduce a niveles aceptables.

Hasta ahora se han construido muy pocas instalaciones para los nuevos procesos de desmineralización de IE propuestos.

Los procesos IE gozan de un cierto número de ventajas potenciales para la conversión del agua salada.

1. En el caso de aguas cuyo contenido total de sólidos disueltos sea del orden de 500 a 1,500 ppm, la inversión de primera instalación puede ser más baja que en los procesos de membrana.

2. Tratándose de aguas que contienen grandes cantidades de bicarbonato, puede omitirse el ciclo aniónico.

Por otra parte, el proceso IE plantea ciertos problemas inherentes a su naturaleza.

1. Los productos químicos se emplean para eliminar otros productos y el efluente total de la planta (producto más agua residual) contendrá una cantidad sustancialmente mayor de materiales minerales que el agua de alimentación, agravando el ya difícil problema de la evacuación de residuos de las plantas de conversión de aguas salinas.

2. El intercambio iónico es un proceso de varias etapas que exige el empleo de grandes cantidades de ácidos y álcalis, un control muy preciso para garantizar el rendimiento económico del mismo y/o bien el traslado de resinas sólidas o la interrupción y readaptación de los diversos ciclos. Por tanto, en lo que respecta a la fiabilidad y al control, los procesos IE plantean más problemas que la mayor parte de los eléctricos o térmicos de tipo continuo.

3. En el caso de que se registren errores humanos o mecánicos, la alimentación de cualquier forma de álcali a los tipos de aguas salinas que se encuentran en la mayor parte de los acuíferos ---

equipos de bombeo, así como tuberías, elementos auxiliares y recipientes a presión relativamente caros, eficaces y fiables. Uno de los factores determinantes del desarrollo del proceso RO es la fabricación de equipos de bombeo adecuados para manipular el agua salada.

4.14.5.4 DESALACION POR INTERCAMBIO IONICO

Los procesos de intercambio iónico (IE) se empezaron a emplear hace treinta años como mínimo en el ablandamiento del agua con zeolita y, en una época aún más reciente, en la desmineralización de esta, recurriendo tanto a los lechos catiónicos y aniónicos como a los mixtos, regenerados con ácidos y álcalis. El creciente interés despertado por la conversión del agua salada y, muy especialmente, de la salobre se ha traducido en nuevos avances en el campo del IE con la finalidad de ampliar el rango del contenido total de sólidos disueltos en el que se puede aplicar este proceso.

Hasta hace muy poco, el proceso IE no se empleaba demasiado en la desmineralización de las aguas que contenían más de unos cuantos centenares de ppm, de sólidos totales disueltos, ya que tanto el tamaño de los lechos de IE necesarios como las cantidades de regenerantes químicos exigidas eran prohibitivos.

Teóricamente, en el proceso IE se requiere, como mínimo, un equivalente de ácido y otro de alcali para eliminar del agua un equivalente de la sal o del mineral. En los procesos de que hasta ahora se disponía se necesitaban de dos o tres equivalentes de ácidos y de 1,2 a 2 álcali por cada equivalente de sal eliminada. Los avances realizados en el proceso IE, que prometen desembocar en una ampliación del rango útil de los desmineralizadores de IE hasta 1,000 ppm de sólidos totales disueltos como mínimo y, posiblemente, hasta 2,000 ppm, incluyen combinaciones de uno o más de los siguientes factores:

1. Nuevas resinas, que puedan regenerarse con ácidos y álcalis - más débiles y menos caros, como, por ejemplo, el dióxido de carbono, el amoniaco y la cal.
2. Nuevas resinas que pueden regenerarse con 1,1 a 1,5 equivalentes de ácido o alcali por equivalente de sal eliminada.
3. Resinas de elevada capacidad por unidad de volumen
4. El empleo de los lechos de resina de IE en continuo.

Como caso extremo, en uno de los nuevos procesos IE es posible

3. La primera membrana práctica se sintetizó a partir del acetato de celulosa, que es un material relativamente barato.

4. Parece ser que, de resultados de los trabajos de desarrollo actualmente en curso, el proceso podrá utilizarse para el tratamiento de aguas salobres, residuales y, en última instancia, de mar.

Se plantean ciertos problemas en el campo de proceso RO que hoy son objeto de un estudio y desarrollo intensos:

1. Aunque el acetato de celulosa es un material barato, en cambio es sensible de las variaciones del pH del agua, a los agentes de oxidación posiblemente a la acción bacteriana y a la compactación en las condiciones de presión requeridas. En consecuencia, los cálculos de duración de las membranas de este material oscilan entre unos cuantos meses y un máximo de tres años. Las fibras de nylon que hace poco se han empezado a emplear con esta finalidad tienen una resistencia química muy superior a la del acetato de celulosa, pero, en cambio, las fórmulas hoy empleadas tienen una permeabilidad del orden de una centésima de la del acetato de celulosa. La relación que pueda existir entre los costos del agua producida por el sistema basado en el nylon y la obtenida en el sistema de acetato de celulosa aún no está clara.

2. Como la membrana de RO filtra el agua en todo el sentido de la palabra, el proceso RO es sensible a los materiales de tipo particular, hierro, manganeso, turbiedad, sustancias orgánicas y otras impurezas disueltas en el agua y, en consecuencia, en la actualidad se está prestando una gran atención a la determinación de las necesidades de pretratamiento del agua empleada en estas plantas: En lo que respecta a estas necesidades se intuye que pueden existir diferencias bastante significativas entre las diversas modalidades del proceso RO.

3. Aunque el coste como materia prima de la superficie de membranas de acetato de celulosa es muy bajo por unidad superficial, - en cambio los problemas de montaje, soporte, detección de fallos y reposición de las membranas involucran un costo adicional significativo tanto en lo que se refiere a la planta en sí como a la reposición de los elementos gastados.

4. Las elevadas presiones empleadas en el proceso RO (por regla general, del orden de 28 a 105 kg/cm²) requieren el empleo de

nes de litros por día que funcionan en bastantes lugares del mundo han demostrado su eficacia para producir agua potable en perfectas condiciones.

2. Como para lograr el máximo rendimiento las plantas ED deben trabajar con aguas limpias exentas de hierro, manganeso, turbiedad y materia orgánica en muchos casos antes de procesar las aguas en las plantas ED es preciso tratarlas con medios convencionales, aunque este pretratamiento es absolutamente indispensable -- cuando se emplean aguas superficiales.

3. En las plantas hoy existentes se dispone de datos sobre la vida útil de los componentes principales; tales como membranas, espaciadores y electrodos, datos todos ellos muy importantes en la determinación de los costos totales.

4. Por regla general, las plantas ED requieren del 10 al 30 por 100 de agua de alimentación para eliminar las sales concentradas y los minerales separados.

4.14.5.3 DESALACION POR OSMOSIS INVERSA

Durante la última década se han sintetizado membranas muy finas a partir del acetato de celulosa y, en época más reciente, del nylon. Estas membranas permiten el paso de agua relativamente pura y retienen la salina cuando se someten a una presión elevada. A este proceso, tan parecido a la filtración, se le suele conocer por ósmosis inversa o RO.

Durante diversos período de tiempo han funcionado unidades RO de diversos tipos y tamaños. Casi todas estas unidades tienen capacidades que van desde la de laboratorio hasta varios miles de litros diarios. Aunque se han montado varias unidades de capacidad comprendidas entre 8 y 16 m³/h, por el momento no se dispone de datos o experiencias significativos sobre estas unidades de mayor capacidad.

El proceso RO posee varias características que son sumamente prometedoras.

1. Es sencillo en cuanto a su concepto básico.
2. Contrariamente a la destilación, no requiere transferencia de calor.

Las sales y los minerales eliminados de la corriente producto atraviesan las membranas para introducirse en otra corriente de agua que lava continuamente la otra cara de la membrana y emerge a través de los colectores como corriente residual más concentrada. La cantidad de corriente eléctrica y el área superficial de las membranas necesarias para desalar una cantidad determinada de agua por el proceso ED depende de la calidad y tipo de mineral que se va a eliminar y, por tanto, el costo de este tratamiento está también condicionado por la cantidad y el tipo de los minerales que deben eliminarse.

Las plantas ED deben disponer de bombas para obligar al producto y al agua residual a travesar la membranas, una fuente generadora de electricidad (por regla general, un rectificador de silicio) y una serie de membranas que se conocen por "apilamientos de membranas". Estos apilamientos están constituidos por membranas "catiónicas", que permiten el paso de los iones positivos, pero no de los negativos, que se alternan con otras "aniónicas", que permiten el paso de los iones negativos, pero no de los positivos. Cada pareja de membranas está separada por un espaciador de plástico (por regla general, de 1mm de espesor) que contiene el líquido entre las membranas, lo dirige a lo largo de la superficie a través de estas y dispone de colectores para la alimentación del agua y de otros de recogida de los residuos y corrientes de productos separados. Los apilamientos de membranas pueden tener hasta varios centenares de parejas en una sola formación y actualmente tienen una superficie del orden de un metro cuadrado. Por regla general, los espesores de las membranas oscilan entre 0.1 y 0.5-0.8 mm.

Las primeras membranas ED tenían una vida útil relativamente corta y estaban expuestas a la deposición de sales de calcio, pero a medida que tanto estas membranas como el proceso en si se han perfeccionado, la vida útil de aquéllas es ya del orden de cinco a diez años en el caso de los tipos más resistentes; el resultado es que los costos del proceso se han reducido.

Desde el punto de vista del ingeniero los siguientes factores son importantes:

1. Las plantas ED con capacidades del orden de varios millo-

les de energía térmica o eléctrica y, por consiguiente, tanto el coste como la disponibilidad de energía constituyen factores importantes en lo que respecta al diseño y factibilidad económica de estas plantas.

3. La mayor parte de las plantas de destilación modernas, especialmente las del tipo MSF, requieren grandes volúmenes de agua de mar en comparación con los del agua producida, aunque en los emplazamientos costeros esto no suele plantear ningún problema.

4. Para lograr una proyección de los costes de mantenimiento es preciso contar con datos a largo plazo sobre la vida útil de los componentes clave de las plantas de destilación, tales como tuberías, tubos, carcasas, válvulas, etc. Estos datos pueden obtenerse de las plantas ya existentes.

5. Para que las superficies vitales de transferencia de calor de los equipos de destilación trabajen continuamente con la máxima eficacia es preciso prestar mucha atención a la composición del agua.

4.14.5.2 DESALACION POR ELECTRODIALISIS

La electrodiálisis (ED) puso por primera vez de manifiesto que existía un método práctico para la desalación del agua que no se basaba en la destilación. Durante varias décadas aparecieron varios trabajos sobre los principios fundamentales del proceso ED, aunque la realización práctica del mismo se demoró hasta que no se logró el desarrollo de membranas de intercambio iónico duraderas, hecho que se registró a finales de los años cuarenta. Hoy el ED es el proceso que más se emplea en el tratamiento de aguas salobres o muy mineralizadas, pero muy especialmente de aquellas que contienen de 1,000 a 5,000 ppm de sólidos totales en disolución.

En el proceso ED las sales y minerales se eliminan de la corriente de agua salada mediante el empleo de membranas de plástico especiales y de una corriente eléctrica continua. Las sales y minerales atraviesan la membrana en la forma de iones cargados positiva y negativamente. El agua de la que se han separado estos iones escurre entre las membranas y se recoge como producto parcialmente desmineralizado en colectores que atraviesan estas membranas.

Lagos salados interiores, pozos de perforación, mares muertos. Si la planta propuesta está emplazada cerca de, o en una depresión que no puede desaguar, independientemente de si contiene agua o no la evacuación de ésta de los residuos de la planta de conversión de agua salada, no debería plantear ningún problema partiendo del supuesto de que los procesos naturales habrán saturado previamente la masa de agua, o la zona, con grandes concentraciones de sales y minerales. Probablemente, las adiciones procedentes de las plantas de conversión de agua salada serán pequeñas comparadas con las cantidades depositadas en el transcurso de los procesos naturales.

Evacuación subterránea. En ciertas zonas existe un cierto número de formaciones subterráneas perfectamente definidas que contienen aguas de una salinidad muy elevada (por ejemplo, 10,000 ppm de sólidos disueltos o más). En muchos casos, una disposición cuidadosamente controlada de los residuos de las plantas de conversión de agua salada mediante su inyección en estos acuíferos profundos sería aceptable, especialmente cuando el agua residual tiene una salinidad inferior a la del acuífero. Cuando se tratan aguas salobres de una concentración de 1,000 a 3,000 ppm y la del agua residual oscila entre 5,000 y 10,000 ppm, la evacuación subterránea -- del tipo descrito puede emplearse en zonas de una formación geológica adecuada.

Estanques, lagos o embalses. Este método se ha empleado corrientemente (preferiblemente en conjunción con revestimientos impermeables o fondos herméticos) en zonas con índices de evaporación muy elevados, para la evacuación de las salmueras de los campos petrolíferos. A medida que pasa el tiempo, estos estanques deben ajustarse a disposiciones cada vez más estrictas, con objeto de proteger los abastecimientos cercanos de agua dulce. La formación de estanques o embalses de salmuera puede ser un método de evacuación de utilidad en aquellas zonas con índices de evaporación elevados.

Si los residuos de las plantas de desalación se embalsan, inyectan en el suelo o eliminan de cualquier otra manera en conjunción con el proyecto de la planta de conversión de agua salada, entonces este brinda la ventaja de mejorar las condiciones de vida

parten de aguas subterráneas salobres, estarán prácticamente libres de DQO, DBO, turbiedad, color, olor y cualesquiera otros materiales indeseables que suelen identificarse con el concepto de polución.

A partir de aguas salobres de una concentración total de sólidos disueltos de 1,000 a 3,000 ppm, la corriente residual de una planta de conversión de agua salada representa aproximadamente del 10 al 30 por 100 del agua alimentada y tendrá una concentración de 5.000 a 10,000 ppm de sólidos totales disueltos. Esta corriente residual suele recibir el nombre de "Salmuera", aunque esta terminología es equivocada, ya que las salmueras suelen tener concentraciones que oscilan entre 35,000 y 250,000 ppm.

La corriente residual procedente de las plantas de conversión de agua de mar suele estar constituida por un agua con una concentración total de sólidos disueltos desde un valor algo mayor que el del agua de mar original (35,000 ppm) hasta 70,000 ppm, cifras que dependen del rendimiento del agua y grados de concentración alcanzados en el proceso de conversión del agua de mar empleado. Como, -- por regla general, la disponibilidad del agua de mar no está sujeta a ningunas restricciones, en el emplazamiento de las plantas de conversión de ésta, la mayor parte de los procesos están diseñados para gastar de 1 a 20 veces más de agua salada que la dulce obtenida.

El método elegido para la evacuación de los residuos de las plantas de agua salada dependerá en gran parte del tamaño de la planta, fuente de agua, salinidad y origen del agua salada, geología y meteorología de la zona en cuestión. Las principales opciones para la evacuación de los residuos de las plantas de conversión de aguas salinas son las siguientes:

El océano. Si el océano o una corriente de agua que va a parar a este están cerca de la planta, el costo de la evacuación de los residuos es el de su transporte al mismo. La naturaleza de los residuos de la mayoría de las plantas de conversión de agua salada es tal que su devolución al océano apenas puede considerarse perjudicial. Acaso la única salvedad sea la elevación de la temperatura y salinidad, asociadas con la corriente residual de una gran planta de destilación de agua de mar (3,100 a 7,900 m³/h o más).

investigaciones, lo que, a su vez, se traducirá en mejoras del rendimiento.

Aunque los costos de conversión de las aguas salobres están determinados por muchas variables, cabe destacar las siguientes:

1) tipo de proceso elegido, 2) tamaño de la planta, 3) composición y temperatura del agua tratada, 4) grado de eliminación de minerales exigido, 5) costo unitario de la energía eléctrica, 6) condiciones climáticas y otros que condicionan la construcción, 7) el factor de carga anual, 8) amortización o tipo de interés, 9) duración de los componentes, tales como membranas, resinas o tubos; 10) grado de pretratamiento necesario, y 11) costes de mano de obra y mantenimiento.

Son convenientes cuando se cumple alguno de los criterios siguientes:

1. Se toma el agua de una corriente de agua salada existente; por ejemplo, un río salino.

2. El agua desmineralizada tratada, que tiene un contenido en minerales más bajo, también puede devolverse a la misma zona que los residuos.

3. La fuente de agua salada tiene una salinidad original relativamente baja; por ejemplo, de 1,000 a 3,000 ppm.

4. El agua salina se empleaba antes sin tratar y se descargaba a la misma zona, también sin tratar.

5. La planta proyectada es pequeña.

4.14.4 RESIDUOS DE LAS DESALADORAS

Las plantas de conversión de agua salada eliminan las sales y minerales que esta contiene para producir un agua desalada con un contenido de minerales inferior y concentrar las sales eliminadas en una corriente residual de concentración más elevada. En los procesos actuales de conversión de aguas saladas no se añaden sales ni minerales, pues los únicos que aparecen en las corrientes residuales que proceden de la mayor parte de las plantas de conversión de agua salada son los que ya estaban presentes en el agua cruda. En la mayor parte de los casos, las corrientes de residuos procedentes de las plantas de conversión de agua salada, especialmente las que

manejan como típicos de las operaciones de desalación de aguas salobres.

La conversión de las aguas salobres proporciona una alternativa de abastecimiento atractiva debido a que hoy pueden lograrse costos totales bajos del agua (0.05 a 0.10 dólares/m³) en plantas de tamaño y costos de primera instalación relativamente modestos.

1. En el caso de las operaciones caracterizadas por factores de carga elevados basados en el empleo de apilamientos y tecnología de membranas tipo ED, pueden lograrse costes de 0,07 a 0,10 dólares/m³, o aún menos, para reducir los sólidos totales disueltos típicos de las aguas salobres desde las 3,000 ppm hasta 500 ppm, en la escala de 316 a 1,580 m³/h los costes correspondientes son del orden de 0,05 a 0,08 dólares/m³.

2. Las plantas de conversión de aguas salobres se caracterizan por una inversión de primera instalación baja (en comparación con la que exigen los métodos de destilación y otros convencionales de abastecimientos de aguas, que implican el transporte de éstas a través de largas distancias, y/o la construcción de grandes embalses). Por tanto, son muy interesantes como fuentes de reservas en los períodos de demanda punta o cuando se trabaje con factores de carga bajos, así como también en aquellas zonas donde las disponibilidades son limitadas o el dinero es caro.

3. En la conversión de aguas salobres, el consumo de energía eléctrica es bajo, ya que oscila entre 1,1 y 3,3 kwh/m³ de un agua con un contenido de sólidos de 1,000 a 3,000 ppm. Una planta de ED de 1.580 m³/h que trata un agua con un contenido de sólidos de 1,000 a 3,000 ppm, utiliza de dos a seis megawatios; es decir, de 20 a 60 megawatios para 15.800 m³/h.

4. Los procesos de conversión de agua salobre emplean energía eléctrica más que térmica, lo que permite un máximo de flexibilidad en lo que respecta a la planta de tratamiento de aguas y a la localización de la fuente energética.

5. Las plantas de procesos de membrana pueden adaptarse al progreso tecnológico y es de esperar que la efectividad de los principales componentes sustituibles de estas plantas (por ejemplo, las membranas y soportes o espaciadores) irá en aumento debido a las in

Las plantas de tratamiento de aguas salobres también pueden proyectarse y construirse en conjunción con las de generación de energía eléctrica en el marco de proyectos de finalidad doble. Se puede proyectar una nueva instalación de generación de energía añadiendo la carga necesaria para la planta de desalación equivalente a un aumento de capacidad, acreditar la mayor parte, o la totalidad, de los beneficios del coste adicional bajo de la energía así generada a la planta y explotar la instalación para sacar el máximo provecho de la interruptibilidad y característica de ahorro de las puntas de la carga de la planta. Los proyectos de doble finalidad que tienen por objeto de desalación de aguas salobres y generación de energía tienen las mismas ventajas sociales y políticas de que los otros tipos de proyectos de generación de energía y tratamiento de agua, pero, por regla general, gozan de una mayor flexibilidad de emplazamiento y operación y, además, exigen un menor desembolso de capital.

Utilización del calor residual. En aquellos casos en los que las plantas ED o RO están emplazadas al lado o cerca de centrales de generación de energía o de otras fuentes de calor residual de bajo nivel (del orden de 38°C), esta energía térmica puede utilizarse para aumentar el rendimiento de la operación de desalación, ya que la eficacia de los procesos de membrana aumenta a medida de que lo hace la temperatura. Por regla general, la eficacia desaladora del proceso ED se eleva en 1 por 100 por cada 1/2°C en el intervalo de 4 a 38°C. Con los componentes actuales, la temperatura óptima del agua de alimentación es de 38°C. Por regla general, la eficacia desaladora del proceso ED se elevará, como mínimo a 48°C y, con el tiempo, podrá llegar a los 82°C. A temperaturas comprendidas entre 60 y 82°C la desalación del agua de mar por el proceso ED puede llegar a competir económicamente con la destilación. Aunque en el caso del proceso RO el efecto de la temperatura se conoce menos, se supone que será análogo al del ED.

4.14.3.2 PROYECTOS PARA ACONDICIONAR AGUA SALOBRE

Los nuevos procesos que se han desarrollado para la conversión de estas aguas (tales como la RO o el IE) tienen unos costos que se aproximan a los ED y, en consecuencia, son estos últimos los que se

anual del agua obtenida en una planta a la capacidad teórica de dicha planta en base a un año de 365 días y veinticuatro horas de operación. La mayor parte de los estudios efectuados hasta la fecha sobre la economía de la desalación se han basado en factores de carga del 90 por 100 y superiores, práctica que se traduce en los costos unitarios más bajos señalados, pero que, por otra parte, no es de aplicación a muchas situaciones. Las instalaciones de abastecimiento de aguas raras veces trabajan con unos factores de carga tan elevados debido a las siguientes circunstancias: 1) fluctuaciones estacionales de la cantidad de agua utilizada, 2) previsión de una cantidad en exceso como factor de seguridad y 3) márgenes para futuras ampliaciones. En el caso de las instalaciones de abastecimiento de aguas que prestan servicio a las municipalidades son corrientes factores de carga anuales del 50 al 70 por 100. Factores de carga del 50, 70 y 90 por 100 sobre los costes totales del agua obtenida en instalaciones de ED de 474 m³/h que tratan un agua cruda con una concentración total de sólidos disueltos de 1,700 ppm.

<u>FACTOR DE CARGA, PORCENTAJE</u>	<u>COSTES TOTALES DEL AGUA-ALIMENTACION DE AGUA DE 1,700 ppm, (DOLARES \$/ m³)</u>
90	0.06
70	0.07
50	0.08

PLANTA DE FINALIDAD DOBLE

Los proyectos de doble finalidad permiten subvencionar el costo de producción del agua con una parte de los ingresos obtenidos por la de energía sin recurrir a ninguna fuente de financiación ajena. Sin embargo, las ventajas de esta reducción de los costes en los proyectos de finalidad doble (destilación de agua de mar y generación de energía) tan solo se logran a expensas de la pérdida de flexibilidad tanto en lo que se refiere al emplazamiento como a la operación de las instalaciones indicadas. A su vez, esto exige una elevación de los costos de primera instalación.

Los costos de conversión de agua de mar están influenciados -- por muchas variables, entre las que cabe destacar las siguientes: 1) tamaño de la planta, 2) composición del agua que se va a tratar, 3) grado de pureza necesaria del producto, 4) costo unitario de la energía eléctrica y térmica, 5) condiciones climáticas y otras relativas a la construcción, 6) temperaturas ambiente y del agua, 7) factor de carga anual 8) amortización o tipo de interés, 9) vida - útil estimada de los componentes, inclusive de la zona de transferencia de calor, y 10) tipo de ciclo elegido.

Los costos de inversión de primera instalación total para las plantas de destilación instantánea de multietapas en función y de los equipos de generación de vapor para aquellas de capacidades comprendidas entre 158 y 7,900 m³/h. oscilan entre 1,5 y 35 millones de dólares y los de la planta de generación de vapor representan una suma adicional del orden del 20 por 100 de las cifras indicadas.

Entre los costos operativos y de mantenimiento principales se incluyen los de energía eléctrica, combustibles, productos, suministros y material de mantenimiento, mano de obra operativa y de mantenimiento, cargas salariales y complementarias, y gastos generales. En condiciones relativamente favorables (costa del golfo de México), la mayor parte de las plantas comprendidas en la escala de 158 a 790 m³/h tienen en la actualidad unos costos operativos del orden de 0.17 dólares por m³ para factores de carga de aproximadamente el 90 por 100. En la escala de 1,580 m³/h los costos totales calculados no han sido superiores a los 0.09 dólares por m³, si bien hay que hacer la salvedad de que éstos deben confirmarse por vía experimental, especialmente en lo que respecta a los de mantenimiento que implican la corrosión y sustitución de elementos en la zona de transferencia de calor.

Para factores de carga inferior, al 90 por 100, el costo del agua producida en las plantas de tratamiento de agua de mar aumenta con relativa rapidez, ya que los costos de capital unitario por m³/h de capacidad suelen ser varias veces mayores en el caso de las plantas de conversión de agua de mar en dulce que en el de las que parten de aguas salobres.

El factor de carga anual es la relación del rendimiento real -

po político a estas aguas, en cambio, no son de prever objeciones de ningún tipo si se emplea agua salada como fuente de abastecimiento.

A medida que aumenta la distancia y el costo involucrado en el desarrollo de nuevos abastecimientos de agua "dulce", los costes de primera instalación de los equipos de conversión de agua de mar serán cada vez menores que los que representan esos proyectos de aguas dulces de regiones muy alejadas.

Las plantas de conversión de agua salada actuales emplean la -- energía calorífica con un rendimiento muy superior que las originales, aunque hay que reconocer que las de gran tamaño siguen necesitando cantidades considerables de esta energía. Como las operaciones de destilación realizadas en las plantas modernas necesitan una energía calorífica de una temperatura relativamente baja, la integración de los equipos de agua de mar con plantas alimentadas con combustibles fósiles, que también son susceptibles de producir energía eléctrica, pueden ser cada vez más atractiva. Se calcula que, en algunos casos, estas plantas de finalidad doble pueden rebajar el coste del agua dulce obtenida.

La eliminación de las sales minerales en exceso disueltas en el agua siempre exige la ulterior evacuación adecuada de éstas: su devolución al mar es un método aceptable y de un costo relativamente bajo, lo que representa una estimable ventaja en el caso de los proyectos de plantas de conversión de agua salada en dulce.

Todos los procesos de conversión de aguas salinas, y especialmente de aquellos que tienen por objeto tratar las de elevada salinidad, tal como el agua de mar, emplean energía en cantidades elevadas; pero como la tecnología de la producción de energía ha mejorado notablemente durante los últimos cincuenta años y la mayor parte de los expertos predicen que este progreso continuará en el futuro previsible, el gasto de energía para producir agua dulce será cada vez menos.

Existen algunos países y situaciones en los que la única fuente concebible de agua dulce es el mar. Las islas son un ejemplo típico de esto, pues sus economías pueden desarrollarse si el agua potable procede de la conversión de la de mar.

Teniendo en cuenta los costos de primera instalación más bajos, pero los superiores de operación, las comparaciones económicas entre los proyectos convencionales y los de agua salina están influenciados por los plazos de desembolso del capital y de descuento de los costos de operación y mantenimiento y el factor de carga o utilización porcentual del proyecto.

En la actualidad es bastante probable que vuelvan los tipos de interés relativamente bajos de los últimos años y que la tendencia universal es la de gravar cada vez más el capital público invertido en proyectos de abastecimiento de aguas y, hay que registrar que el Gobierno ya ha promulgado disposiciones orientadas a aumentar estos gravámenes. Probablemente, las modificaciones hasta ahora introducidas son pequeñas en relación a las de que tendrán que enfrentarse los planificadores de proyectos en la década de los años noventa. Sin embargo, ello tiene la ventaja de que en el futuro se aplicarán tipos de interés y descuento mayores en la evaluación de las alternativas posibles antes de que se autoricen los proyectos, así como para determinar el nivel adecuado de las cargas una vez que aquéllos hubiesen concluido.

Este desplazamiento ascendente del coste de capitales tendrá una decisiva importancia en la determinación del grado de las futuras inversiones en la desalación de salinas en comparación con las exigidas por las fuentes convencionales.

4.14.3.1 PROYECTOS PARA ACONDICIONAR AGUA MARINA

Los procesos de conversión de agua de mar proporcionan la extraordinaria ventaja de que los mares son una fuente ilimitada de agua con todo lo que ello supone de inestimable beneficio para la humanidad, pero muy especialmente para las poblaciones que viven en zonas en las que el agua dulce escasea. Por otra parte, las objeciones de tipo político a la utilización del agua del mar como fuente de agua dulce son mucho menores, por no decir inexistentes, si se comparan con las de agua dulce de unas zonas a otras. Independientemente de la magnitud o situación actual de la utilización de agua dulce procedente de otras regiones, se han registrado, y sin duda continuarán registrándose en el futuro, objeciones de ti-

2. Estar menos condicionadas a la pluviometría y a las incertidumbres ajenas a la mayor o menor inocuidad del agua.
3. Necesitan menor superficie
4. Reducen al mínimo los derechos de paso, operaciones topográficas e incertidumbres de tipo geológico.
5. Se reducen al mínimo los problemas de derechos de agua y, por tanto, las demoras de tipo legal y político.
6. Requieren menos tiempo desde la iniciación del proyecto hasta la obtención de agua y, por tanto, reducen al mínimo el impacto de la inflación.
7. Tienen un componente más elevado de equipos fabricados y uno menor de mano de obra de construcción.
8. Permiten obtener un producto de una calidad más predecible y controlable.

Las ventajas que representan los costos de primera instalación más bajos de los proyectos de desalación de aguas salinas pueden acentuarse teniendo en cuenta que el equipo de las plantas es modular y puede ampliarse fácilmente para hacer frente al aumento de la demanda manteniendo factores de carga y utilización elevados. Por regla general, el proyecto convencional típico suele elaborarse en función de una considerable capacidad excedente y, por consiguiente, funciona con factores de utilización bajos durante los primeros años de trabajo.

Los costos de operación y mantenimiento directo combinados de los proyectos de conversión de agua salina (tanto agua de mar, como salobre) suelen ser más elevados que los correspondientes a los proyectos convencionales. En el caso de las aguas salobres de un contenido bajo de sólidos totales, los costos directos de operación para la conversión pueden aproximarse a los directos de operación de los proyectos convencionales que requieren operaciones de bombeo intensivas y un tratamiento convencional del agua. Por otra parte, los costos de mantenimiento de conversión de agua salada (sustitución de membranas, resinas y elementos metálicos de las plantas de destilación serán significativamente mayores que los correspondientes a los proyectos convencionales.

En las primeras fases del desarrollo, y especialmente en lo -- que atañe a las plantas de tamaño pequeño, el costo de la conversión del agua salina era relativamente alto. Estas circunstancias han limitado hasta ahora la aplicación de la conversión del agua salina a tan sólo aquellos casos en los que el valor del agua era elevado, como, por ejemplo, usos militares, navales o de la población de islas pequeñas y localidades aisladas, especialmente tratándose de suministros pequeños, industrias de gran potencia económica, tales como las de petróleo; prospección de minerales y explotación de complejos turísticos: aplicaciones en las que el valor del agua de por sí era elevado, tal como en las industrias de bebidas carbonatadas y en la preparación del agua de alimentación de calderas de las plantas de calderas de alta presión.

No obstante lo anterior, la industria está interesada en la conversión de aguas salinas desde el punto de vista de la capacidad de éstas para competir con las fuentes tradicionales de abastecimiento de aguas.

Durante la última década, las reducciones en el costo de conversión de las aguas no-dulces (tanto las de mar como las salinas) han sido tan grandes que, en la actualidad, los procesos de conversión de estas aguas están siendo estudiados detenidamente como posibles fuentes de abastecimiento de agua dulce en gran escala.

Los últimos proyectos de abastecimiento de aguas basados en la desalación y con capacidades hasta de 316,000 a 474,000 m³/h han sido objeto de estudio por diversos organismos de abastecimiento de aguas. Los comprendidos en la escala de 16,000 a 160,000 m³/h incluyeron algunas plantas proyectadas en Egipto, Israel, México y España.

4.14.3 INGENIERIA ECONOMICA EN LOS PROYECTOS DE DESALACION

Las plantas de conversión de agua salina tienen ciertas características básicas que difieren de las que son típicas de los proyectos convencionales de abastecimiento de aguas. En comparación con éstas, las de conversión de agua salina pueden tener las siguientes ventajas:

1. Menores costos de primera instalación

<u>LOCALIZACION</u>	<u>PROPIETARIO</u>	<u>CAPACIDAD</u>	<u>PROCESO</u>	<u>FECHA DE ARRANQUE</u>	<u>TDS ppm(milcs)</u>
Coalinga, Calif	City of Coalinga	4	ED	1959	2.400
Buckeye, Ariz	Town of Buckeye	103	ED	1962	2.200
Port Mansfield, Tex	Port Mansfield PUD	40	ED	1965	2.400
Catalina Island, Calif.	Southern California Edison	24	SF	1965	35.000
Key West, Florida	Florida Keys Aqueduct Comission	411	MSF	1967	35.000
Dell City, Tex	City of Dell City	11*	ED	1967	2.700
Siesta Key, Florida	Siesta Key Utilities Authority	316	ED	1969	1.300
		909			

<u>LOCALIZACION</u>	<u>PROPIETARIO</u>	<u>COMPRADOR DEL AGUA</u>	<u>CAPACIDAD, m³/h</u>	<u>PROCESO</u>	<u>FECHA DE PUESTA EN MARCHA</u>	<u>TDS AGUA CRUDA, ppm</u>
Freeport, Tex	OSW	City of Freeport	158	LTV	1961	35.000
(San Diego, Calif. núm. 1)	(OSW)	(City of San Diego	(158)	(MSF)	(1962)*	(35.000)
Webster, S. Dak	OSW	City of Webster	40	ED	1962	1.500
Roswell, N. Méx.*	OSW	City of Roswell	158	VC	1964	15.400
Coalinga, Calif	UCLA	City of Coalinga	1	RO**	1965	2.500
San Diego, Calif. núm. 2)	OSW	City of San Diego	158	MSF	1967	35.000
San Diego, Calif	OSW	City of San Diego	395	MSF	1968	35.000
Plains, Tex	Vendedor	City of Plains	16	RO***	1969	2.000
Bessie, Okla	Vendedor	Town of Bessie	1.6	RO****	1969	3.000

tercambio iónico (IE), se encuentran en las fases de desarrollo y planta piloto.

<u>LOCALIZACION</u>	<u>NUMERO DE UNIDADES</u>	<u>CAPACIDAD TOTAL, m³/h</u>	<u>PROCESO</u>	<u>AGUA DE ALIMENTACION</u>
Aruba	5	465	ST	Agua de mar
Bahamas (new Prov)	2	228	MSF	Agua de mar
Islas Canarias	4	835	MSF	Agua de mar
Ceuta (España)	2	167	MSF	Agua de mar
Cuba (Guantánamo)	3	356	MSF	Agua de mar
Curacao	5	963	ST/MSF	Agua de mar
Israel (Eilat)	1	158	MSF	Agua de mar
Italia (Taranto)	2	190	MSF	Agua de mar
Kuwait (Shuwaikh)	20	379	ST	Agua de mar
(Shuwaikh)	10	1.896	MSF	Agua de mar
(Shuaiba)	4	948	MSF	Agua de mar
Malta (Valetta)	1	190	MSF	Agua de mar
México (Rosarito)	2	1.185	MSF	Agua de mar
Holanda (Terneuzen)	2	1.209	MSF	Agua de mar
Qatar (Doha)	2	284	MSF	Agua de mar
URSS (Kazakh)	-	205	LTV	Agua de mar
Islas Virgenes (St.Thomas)	1	158	MSF	Agua de mar
(St. Thomas)	-	395	MSF	Agua de mar
(St. Croix)	1	237	MSF	Agua de mar
Venezuela (Pt.Cordon)	1	228	MSF	Agua de mar

mente de aquellas que duran tres años y más.

AGUAS RESIDUALES

Tres de las utilizaciones más beneficiosas del agua se traducen en aumentos sustanciales de su contenido en minerales: el riego, la refrigeración industrial por evaporación y el consumo de las municipalidades. En muchas partes del sudoeste norteamericano, el agua procedente del riego tiene unos contenidos del orden de dos a tres veces mayores que los del agua cruda que se aplicó inicialmente. Por ejemplo, los ríos New Alamo, de California, que se formaron de resultas de los proyectos de riego del valle Imperial, a base de aguas del río Colorado, tienen un contenido de sólidos totales disueltos del orden de 2000 a 3,000 ppm, mientras que el agua cruda tomada del río Colorado para dicha finalidad tiene un contenido de 600-900 ppm.

Las aguas residuales procedentes de los abastecimientos municipales pueden registrar un aumento de 300 a 400 ppm de su contenido de sólidos totales disueltos con respecto al del abastecimiento de -- aguas de la comunidad. Por tanto, el contenido total de sólidos disueltos en los efluentes de aguas negras de ciudades ponen de manifiesto tanto contenidos de sólidos totales disueltos relativamente altos (300 a 900 ppm de sus fuentes de "aguas dulces") como un incremento de 300 a 400 ppm, debido al uso municipal.

RIOS Y LAGOS SALINOS

Algunos ríos y lagos grandes tienen aguas de naturaleza salina o salobre.

4.14.2 PLANTAS DESALADORAS GRANDES

Los procesos principales empleados en el tratamiento de agua salada están representados por diversas formas de destilación y, muy especialmente, por la instantánea de etapas múltiples (MSF), en tubos largos verticales (LTV) y compresión de vapor (VC). En el tratamiento de las aguas salobres o con un contenido de minerales no demasiado alto el proceso más empleado es el de la electrodiálisis (ED). Los procesos de congelación y ósmosis inversa (RO), así como de in

se en las proximidades del punto de utilización de las mismas. Los costos de almacenamiento se reducen al mínimo, ya que los abastecimientos de la veta acuífera cumplen esta función. Las aguas subterráneas empleadas para el abastecimiento de aguas tienen, en cambio, el inconveniente de su elevado contenido de productos minerales, por lo menos en algunas zonas. En la actualidad, el ingeniero puede combatir eficazmente estas impurezas, del mismo modo en que lucha contra otras, como la turbiedad y la dureza.

ESTUARIOS

Los estuarios de algunos ríos se extienden tierra adentro muchos kilómetros y constituyen una de las fuentes principales de aguas salobres. Los procesos de eliminación de sal proporcionan a los ingenieros mucha más libertad al enfrentarse con los problemas planteados por las aguas de los estuarios. En el pasado era preciso evitar la presencia de sal a toda costa, y si ésta parecía en una emergencia no había más remedio que resignarse, abandonar el abastecimiento o trasladarlo aguas arriba. Al diseñar las nuevas instalaciones había que emplazarlas aguas arriba a la distancia suficiente del mar para evitar la presencia de sal en las peores condiciones de pluviometría o caudal que podían preverse, en base a los registros o métodos entonces disponibles. Hoy en día, la sal puede considerarse como un contaminante más, que puede eliminarse a un coste previsto, y las fuentes de agua pueden utilizarse a distancias mucho menores de la desembocadura y mucho más cercanas a los sistemas de distribución existente cuando la eliminación de sal se incluye en los procesos de tratamiento. El costo y factibilidad de estas fuentes más cercanas al mar pueden compararse directamente con los de aquellas localizadas a mayor distancia de éste o con la construcción de almacenamientos complementarios de aguas dulces para hacer frente a un aumento reducido del caudal.

Muchas grandes urbes cuentan con amplias disponibilidades de almacenamiento de agua dulce para muchos años, siempre que las precipitaciones pluviales no desciendan por debajo de la media y en cantidad suficiente para hacer frente a las necesidades actuales y de un futuro próximo. Las fuentes de agua complementarias tan sólo serán necesarias durante los períodos de extrema sequía, especial

AGUA DE MAR

El agua de mar puede obtenerse al nivel del mar y en la costa, y es importante como recurso acuático principal debido al tamaño e importancia de las comunidades costeras que pueden abastecerse con agua de mar convertida (diluida o no diluida) y también a las cantidades inagotables disponibles. La disponibilidad de procesos de descalcificación del agua está alterando de modo muy acusado los conceptos tradicionales de la planificación de los recursos de agua. Hoy en día, cualquier comunidad costera puede considerar al océano como un recurso potencial de agua dulce, aunque no hace más que una generación esto se consideraba poco más que ilusorio.

AGUAS SALOBRES

Las fuentes de agua salobre son menos conocidas que las de agua de mar. Las aguas salobres están muy ~~distribuidas~~ en todos los continentes y, debido a su menor contenido en minerales, tanto estas aguas como las muy mineralizadas son, por lo general, más baratas de tratar que el agua de mar. El agua salobre se encuentra tanto sobre la superficie de la tierra como también en los estuarios, lagos y ciertas aguas residuales. A continuación todas estas fuentes de aguas salobres se estudiarán con algo más de detalle.

AGUAS SUBTERRANEAS

La fuente más disponible y, en cierto modo, la más deseable de agua salobre es la subterránea, de la que existen grandes reservas en muchas partes del mundo, Canada, México, Europa meridional y occidental, Africa del Norte, el Medio Oriente, Africa occidental y America del Sur. Como es el caso de la mayoría de las aguas subterráneas, las salinas poseen muchas características deseables como fuentes de agua cruda. Por ejemplo, las aguas procedentes de pozos profundos suelen tener un contenido bajo de materias orgánicas y, en consecuencia, unos índices de color, sabor y olor bajos; una calidad estable; una protección contra la polución natural y provocada por el hombre; una independencia casi total de las fluctuaciones de la pluviometría y la ventaja de que suele encontrar-

de una agua muy mineralizada (entre 1.000 y 2.000 ppm) que se extendió a 38 comunidades puso de manifiesto que el costo total por familia era de 40 dólares al año.

En resumen, los procesos de tratamiento de aguas que puedan reducir el contenido salino y de minerales deben apuntar a los dos objetivos fundamentales siguientes: 1) utilizar una parte de ese -- 99,4 por 100 del agua total de la tierra que constituye los océanos y las masas de hielo polares, así como también aquellas aguas continentales (probablemente de un cuarto a la mitad de las mismas) que tienen un contenido mineral superior a 1.000 ppm; y 2) mejorar la calidad de los abastecimientos de agua domésticos muy mineralizados que ahora consumen millones de personas en un gran número de núcleos habitados. Tan sólo recurriendo extensamente a los procesos desarrollados para eliminar el contenido de minerales en exceso podrán ajustarse las aguas que consume la inmensa mayoría de la población a los estándares de agua potable.

Todos los abastecimientos públicos de agua deben ser inocuos, pero, por sí sola, esa calidad no es suficiente para satisfacer las necesidades de una población cada vez más exigente. La gente quiere, y necesita, un abastecimiento de agua que sea transparente, insipido e inodoro, blando, que no manche, incoloro, no corrosivo y, si es posible, de temperatura fresca. Afortunadamente, en la actualidad contamos con los medios para alcanzar estos objetivos y, sin embargo, miles de abastecimientos de aguas públicas del país proporcionan una agua que no llega ni con mucho a una calidad mínima. Es obligación informar al pueblo de las características inferiores del abastecimiento de agua local e indicarle como pueden corregirse estas negligencias y cuales serán los costos que ello llevará consigo.

4.14.1 FUENTES DE AGUA

Entre las aguas salinas se incluyen: 1) el agua de mar sin diluir, que contiene aproximadamente 35.000 ppm de sólidos totales disueltos (STD); y 2) aguas salobres que contienen de 1.000 hasta 15.000 ppm de STD y que, en su mayor parte, están representadas por las aguas subterráneas muy mineralizadas y el agua de mar diluida.

fuentes de aguas salinas o salobres. Cuando no se ha dispuesto de otras fuentes, se han empleado aguas muy mineralizadas, que contienen hasta 3.000 ppm de sólidos totales disueltos (y hasta más en algunos casos aislados). sin efectuar una reducción significativa de su contenido de minerales.

A medida que se intensifica el consumo de agua, crece el contenido de minerales de algunas fuentes importantes de este elemento.

En relación con el control de la producción de agua se ha acentuado mucho el aspecto de su mineralización. Sin embargo, parece ser que no se comprende con igual claridad que cuando un agua se utiliza y consume beneficiosamente se registra un efecto de concentración de los minerales que contiene, y el mayor efecto acumulativo de reducción de la calidad del agua suele ser el resultado de su utilización y reutilización a medida que se desplaza progresivamente aguas abajo.

Durante las últimas décadas, a medida que ha ido aumentando el consumo de agua y se ha ido degradando la calidad de las fuentes disponibles, tanto las autoridades estatales como el público en general han venido prestando una mayor atención a esta calidad. Los reglamentos antiguos recomiendan un máximo de sólidos totales disueltos de 500 ppm, sin ninguna mención expresa a cualquier otro nivel superior. Los objetivos de calidad de agua potable recientemente adoptados son mucho más estrictos al señalar que el agua de calidad no debería contener más de 200 ppm de sólidos totales disueltos. Estos estándares reflejan la demanda del público e imprimen un nuevo impulso a la necesidad de desarrollar procesos capaces de reducir el contenido mineral de las aguas.

Se han emprendido estudios de los gastos ocultos a los que tiene que hacer frente el consumidor que consume un agua muy mineralizada, una encuesta realizada puerta a puerta puso de manifiesto que los costes de corrosión, utilización de jabón y consumo de aguas embotelladas atribuibles al empleo de un agua de un contenido de sólidos disueltos de 2.000 ppm ascendían a 120 dólares/año por familia. Otro estudio sobre la reducción de la vida útil de las instalaciones de fontanería y grifería de resultados del empleo

nocida pero que continúa siendo inquietante hasta poseer una información más completa.

El ozono puede aportar todos estos efectos benéficos exclusivamente si se utilizan modos de acción catalítica en primer lugar y de ozonólisis en segundo lugar, lo cual requiere el mantenimiento de un residual determinado experimentalmente en función del problema de eliminación que debe ser resuelto y, todo ello, durante un tiempo bien establecido.

Para que la realización de estas condiciones no implique consumos inútiles y costosos originados por pérdidas de ozono, se precisa la utilización de métodos de aplicación del aire ozonado al agua que se adapten correctamente tanto las características propias del agua como a las de los intercambios de masas entre el aire ozonado y la fase líquida.

4.14 DESALACION

Tan solo el 0.6 por 100 de los $1.34 \times 10^{18} \text{ m}^3$ del agua total de la Tierra se encuentran en las masas continentales, mientras que el 99,4 por 100 restante corresponde a los océanos y a las masas de hielo polares. De los $8 \times 10^{15} \text{ m}^3$ de "aguas continentales", la mitad aproximadamente se encuentra en los 800 metros superiores de la corteza de la Tierra y casi una cantidad equivalente en las capas subyacentes hasta una profundidad de 2,5 km. Tan sólo un 1 por 100 aproximadamente de las aguas continentales corresponde a los lagos de agua dulce, una cantidad igual a los de aguas salinas. el 0.1 por 100 a todos los ríos y menos del 0.001 por 100 a la atmósfera en un momento determinado. Un porcentaje significativo de las aguas -- subterráneas está muy mineralizado y, a veces, este agua se conoce por "salobre".

Las aguas salobres o muy mineralizadas que, entre otros, reciben los nombres de "saladas", "de yeso", "alcalinas", "duras" o "muy duras", contienen sales y minerales o sólidos totales disueltos, pero principalmente calcio, magnesio, sulfatos, cloruros y bicarbonatos, en exceso. Los nitratos, fluoruros y el potasio están presentes en cantidades más pequeñas. En lo posible, los abastecimientos municipales de aguas han procurado no abastecerse de estas

miento de preozonización para la esterilización y depuración molecular del agua.

Esta recuperación reduce considerablemente la demanda de ozono en la postozonización final. Además, disminuye simultáneamente el costo de destrucción de este ozono residual y el perjuicio creado en la atmósfera circundante.

4.13.5 IMPORTANCIA PRINCIPAL

El extraordinario efecto del ozono en los gérmenes fecales, -- los olores y el color del agua es conocido y apreciado desde hace unos sesenta años.

Las mejoras tecnológicas adquiridas recientemente en la construcción de ozonizadores han disminuido considerablemente el precio del producto que antiguamente era muy superior al del cloro y que en la actualidad es del mismo orden de magnitud: a peso igual de -- reactivo aplicado, el precio del ozono es apenas el doble que el del cloro para instalaciones importantes.

Las contaminaciones incluidas en el agua disminuyen frecuentemente y en gran medida la eficacia de la cloración. Con un agua que contiene por ejemplo 5 g/m^3 de amoníaco, el cloro puede producir su total efecto germicida exclusivamente a partir del "breakpoint" que se sitúa aproximadamente en 35 g/m^3 . Con un agua como ésta, el efecto germicida habría sido obtenido por ozonización con coeficientes diez veces más reducidos. La ozonización en estos casos, con una eficacia germicida equivalente, sería cinco veces menos costosa que la cloración y brindaría, además, un efecto positivo en la eliminación del sabor, color y numerosas microcontaminaciones.

Este es un nuevo aspecto de la cuestión en lo que se refiere a la eliminación de los fenoles, detergentes y sustancias extractibles mediante cloroformo.

Esta acción de refinado completa la purificación, importante -- pero, sin embargo, parcial que es la consecuencia de los tratamientos convencionales por coagulación y adsorción. Esta acción debe ser interesante para todo el mundo en una época en que las aguas superficiales y, en menor medida, las subterráneas, se cargan de microcontaminantes insidiosos cuya significación sanitaria aún es mal co

El incremento del flujo, mientras que se continúa en el régimen burbuja a burbuja, produce un incremento de esta frecuencia de separación pero acto seguido incrementa la dimensión de la burbuja. A partir de cierto flujo, las frecuencias de separación se estabilizan y las burbujas continúan aumentando de volumen hasta que se alcanza un número de Reynolds del orden de 2.000.

De este modo observamos que el número de parámetros que dirigen las condiciones globales de intercambio en una cámara de difusión es considerable. Si se altera uno de estos parámetros, las condiciones cambian. Ahora bien, las condiciones de tratamiento no son fijas, los caudales pueden variar y la calidad del agua se modifica durante el transcurso del año ya que el coeficiente de autodestrucción dependen de pH, de la temperatura y del género de impurezas presentes y el coeficiente de distribución depende de la temperatura.

Una de las cualidades del método de ozonización por porosidad en cámaras sucesivas es precisamente su flexibilidad. Este método puede ser adaptado a las variaciones de las condiciones exteriores impuestas haciendo variar el número de cámaras en servicio, la distribución de los flujos de aire ozonado entre las diferentes cámaras y, por último, el número de poros en servicio en cada cámara. Haciendo variar estas posibilidades, en primer lugar se satura la demanda de ozono del agua y al final de esta primera fase se crea un residual de 0.4 g de ozono por metro cúbico. Es lo que se puede denominar la condición de oxidación.

Esta etapa se realiza en una primera cámara de contracorrientes. A continuación, se mantiene este residual durante un tiempo determinado que es como mínimo equivalente a 4 minutos en el caso en que se desee obtener un efecto virulicida completo. Esta segunda fase continúa en las cámaras sucesivas en las que el ozono es aplicado, ya sea en corrientes paralelas o bien en contracorrientes.

En la última cámara denominada de "desgasificación" el coeficiente de ozono aplicado es en general bastante reducido.

Cabe hacer destacar que, pese a las importantes dificultades tecnológicas que significa su compresión, se puede recuperar una fracción considerable del ozono residual (extraído en la toma de aire de la última cámara de contacto) para utilizarlo en un trata-

- una corriente gaseosa desde abajo hacia arriba,
- una contracorriente líquida encargada de lavar la corriente gaseosa en el caso preciso que nos interesa de extraer el ozono del aire ozonado.

La función del llenado consiste en formar recorridos y presentar una amplia superficie humectante en el que se efectúan los intercambios entre las dos fases. En el caso de la ozonización de aguas, estas columnas de guarnición constituyen dispositivos superabundantes y demasiado costosos ya que los flujos de la fase gaseosa son reducidos comparados con los de la fase líquida.

El procedimiento mejor adaptado en la actualidad es el procedimiento por difusión de burbujas gaseosas en las cámaras de contacto, bajo reserva, evidentemente, de que este procedimiento sea aplicado respetando las reglas precisas.

El procedimiento de difusión por porosidad presenta ventajas energéticas respecto a los demás modos de emulsión o de dispersión y favorece el incremento de la concentración de ozono en el aire ozonado, debido a la compresión en el momento en que este aire ozonado es forzado a través de los poros de los difusores.

La velocidad ascensional es función de la dimensión de las burbujas. Se observa que la velocidad, regularmente creciente al comienzo, pasa por un máximo a medida que el diámetro de las burbujas aumenta, para posteriormente disminuir y pasar por un mínimo para un radio de la burbuja equivalente a 3 mm aproximadamente, y, a continuación, continuar creciendo pero de forma mucho menos marcada.

Las leyes de formación de burbujas, a partir de un elemento poroso sumergido, que han sido objeto de numerosos estudios, no son simples. La dimensión de las burbujas producidas es determinada por el diámetro del poro capilar y ciertos autores han indicado una relación entre el diámetro de la burbuja formada, el del poro, la tensión superficial en la interfase gas/líquido y las densidades del líquido y del gas. Estas fórmulas son verificadas en regímenes burbuja a burbuja y en el caso en que la burbuja formada sea esférica. Teniendo en cuenta el flujo de gas, se produce una frecuencia de separación de las burbujas.

hidroeyectores en servicio son los siguientes:

- carga de agua en el hidroeyector: de 5 a 6 m de agua,
- altura de agua en la cuba: 5 m,
- tiempo de contacto en la cuba: 5 minutos aproximadamente.

Considerando, que las pérdidas de ozono en la superficie del agua rodea la turbina son del orden del 27%. Sin duda se podría efectuar una mayor absorción del ozono dispersando más aún las burbujas de aire, pero ésto podría ser obtenido exclusivamente incrementando el gasto de energía. En este caso, observamos que al igual que en el caso de la emulsión por eyección, el aire ozonado es introducido en el agua a la presión atmosférica o incluso a una presión ligeramente inferior.

Se ha utilizado el procedimiento de disolución por chorro de agua en el interior de una cámara en la que circule el aire ozonado. En este caso nos encontramos en presencia de una ampliación al ozono de una técnica ya empleada para la aereación del agua. Para que la pulverización sea eficaz, es decir, para que las gotas de agua que caen en el cámara de aire ozonado sean sumamente finas, es preciso que la presión en las toberas de dispersión sea elevada. La pérdida de carga eficaz es del orden de unos diez metros como mínimo. Además, para que las gotas formadas no se transformen demasiado rápidamente en una superficie de agua que chorree por las paredes, es preciso que el techo y los muros de las cámaras de contacto se encuentren relativamente alejados de las toberas de pulverización. Esta técnica es, onerosa en energía y espacio. Su adopción requiere un examen profundo de las condiciones de intercambio realizadas entre las gotas de agua y el aire ozonado.

También existen algunas instalaciones en donde el contacto agua-aire ozonado es realizado en columnas de garnición que, al igual que los emulsores, o como los pulverizadores de agua en cámara, producen una ruptura de carga entre las aguas brutas y las aguas tratadas que puede ser superior a 6 metros.

La torre de absorción está constituida por una cubierta guarnecida en cierta altura mediante un apilamiento de anillos, planchas, etc., en donde circulan dos corrientes.

do que gira en el agua a 2,200 r.p.m. El movimiento de rotación rápido crea una aspiración del aire ozonado que se escapa gradualmente por las perforaciones y se emulsiona con el agua procedente del rotor.

Este sistema de emulsión mecánica presenta, respecto al sistema de inyección, la ventaja de no precisar caída de agua al sistema. Por el contrario, la demanda de energía mecánica es del orden de 13 kWh por kg de ozono introducido en el agua, para un contenido de aire ozonado de 10 g. Para el mezclador

Estos diferentes métodos han sido utilizados en el pasado. Los coeficientes de aplicación del ozono en el agua eran entonces del orden del gramo de ozono por metro cúbico ya que el ozono en el aire ozonado no sobrepasa, o muy pocas veces, concentraciones del orden de 10 g/m^3 . Esto quiere decir que las cantidades de aire ozonado que deberán ser aplicadas al agua eran del orden de 100 litros de aire ozonado por metro cúbico de agua tratada.

En la actualidad, por motivos diversos y debido al mayor conocimiento de los fenómenos que dirigen la acción del ozono en el agua, y sobre todo el hecho de que un efecto virulicida es obtenido exclusivamente con residuales considerables mantenidos durante un tiempo suficiente, los coeficientes de tratamiento han pasado a ser de 2 y 4 g/m^3 .

Como en la actualidad se puede producir aire ozonado de 20 g/m^3 , los coeficientes de aplicación, pese a haber aumentado, permanecen dentro de la gama de 100 a 200 litros de aire ozonado por metro cúbico de agua tratada. Las cantidades de aire ozonado son, en consecuencia, reducidas respecto al volumen de agua en cuestión. Por lo tanto, en la práctica, energéticamente es más ventajoso dispersar el aire ozonado en el agua en lugar de pulverizar la masa líquida en un recinto que contiene aire ozonado de movimiento.

4.13.4.2 APARATOS DE DISOLUCION

Durante mucho tiempo se han utilizado y se utilizan aún emulsos. Todo el caudal de agua pasa por un gran hidroyector de materia inatacable por el ozono, como por ejemplo arenisca y, aspira el aire ozonado en los ozonizadores. Las características de los

en el valor que será requerido para las impurezas que deberán ser eliminadas ($0,4 \text{ g/m}^3$ para obtener un efecto virulicida).

Todos los métodos que llevan a la creación de un residual excesivamente abundante, respecto a los requerimientos del tratamiento mismo, producirán una pérdida inútil de ozono a la salida de las cubas, lo cual se añadiría al hecho de que este residual excesivamente abundante desacelerará los intercambios provocando un tiempo de aplicación más largo, al igual que una mayor pérdida por autodestrucción del ozono.

Para efectuar la transferencia de materia de la fase gaseosa a la líquida, se puede, ya sea dispersar el gas en el líquido, o dispersar el líquido en la atmósfera gaseosa o bien, efectuar un contacto de una corriente de gas a lo largo de una capa de líquido colocada en forma de una película delgada.

En los dispositivos se obtiene una puesta en contacto repentina del aire ozonado con el conjunto del agua que debe ser tratada y, acto seguido, se conserva un contacto con burbujas gaseosas que se agotan en la capacidad de reacción denominada "columna de self contact", en corrientes paralelas.

Con objeto de evitar el inconveniente de almacenar todo el caudal que debe ser tratado en emulsores, ciertos servicios de agua han adoptado el principio de ozonización directa que consiste en disolver la totalidad del ozono disponible en una fracción del agua que debe ser tratado y, acto seguido, mezclar esta agua superozonada con el resto. Este método simplifica, evidentemente, los aparatos de contacto si se quieren tratar cantidades muy grandes de agua. Sin embargo, este método ignora la disminución de rendimiento procedente del hecho que se prepara en una primera etapa una masa de agua con un residual muy elevado, mucho más elevado que el que es necesario, etapa durante la cual la velocidad de autodestrucción es virtualmente mayor que en el seno de una masa de agua tratada con el residual mínimo. Por otra parte, este método presenta una sujeción suplementaria, la de la mezcla íntima y rápida de la totalidad del agua tratada con la fracción del caudal sobreozonado.

Otro método de emulsión es el de los emulsionadores mecánicos rotativos, cuyo elemento principal es un cilindro vertical perfora-

- una concentración elevada de aire ozonado C_g ,
- una presión de aplicación elevada P ,
- S elevado

Para que el intercambio se produzca en el sentido gas hacia líquido, podemos observar que C_s debe ser superior a C_r . De forma inversa, debe ser siempre superior a la que se obtendría a partir del residual de ozono en el agua mediante la aplicación de la forma del coeficiente de distribución.

La noción de presión motriz: en un tiempo limitado, es imposible eliminar todo el ozono de una burbuja de aire ozonado, incluso si el agua en contacto está totalmente desprovista de residual. Una pérdida de ozono es, en consecuencia, inevitable. El aire ozonado "agotado" procedente de las cubas de ozonización poseerá aún, en consecuencia, un contenido de ozono. Este coeficiente residual es independiente del flujo pero depende de las características del agua en los últimos instantes del contacto burbujas-agua. Esta pérdida será pues, tanto más reducida en valor absoluto como en valor relativo cuanto más elevada sea la concentración inicial del ozono del aire ozonado. Para el tratamiento determinado, la cantidad perdida inútilmente a la salida de las cubas es, de este modo, proporcional a la cantidad de aire aplicada, es decir, inversamente proporcional a la concentración inicial del aire ozonado utilizado.

Si al finalizar la ozonización, el agua contiene un residual C_r , la concentración de aire ozonado al contacto no puede ser inferior a:

$$C_{gf} = 2.5 C_r + p.$$

como el rendimiento es de la forma:

$$r = 1 - \frac{C_{gf}}{C_g}$$

se puede calcular de este modo la energía consumida por gama de ozono útil y determinar la concentración óptima la cual, una vez efectuados todos los cálculos se sitúan cerca de 20 g/m^3 .

La fórmula $C_{gf} = 2,5 C_r - p$ indica que se debe mantener el residual C_r en su valor más reducido posible, es decir exactamente en

lación de la concentración de ozono en el agua a una temperatura y presión determinada con el de la concentración del ozono en el aire en contacto, en el equilibrio.

El tratamiento de ozonización consistirá en introducir aire ozonado en el agua y efectuar la transferencia del ozono de la fase gaseosa hacia la líquida.

La transferencia de masa del ozono se efectúa mediante difusión a través de la interfase aire-líquido.

Si la fase gaseosa tiene movimientos en su seno, la difusividad en fase líquida. En estas condiciones, la velocidad de transferencia es dirigida principalmente por los procesos de transferencia en el seno de la película líquida y también en el seno del cuerpo del líquido mismo, si este último no circula de forma turbulenta. El valor superior de la concentración en la película líquida cerca de la interfase es el de la saturación, que depende del coeficiente de distribución y de la concentración de ozono en la fase gaseosa. Se puede demostrar que la velocidad de transferencia de masa puede ser representada mediante una ecuación de forma siguiente:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{D}{Yf} A (C_s - C_r)$$

siendo D el coeficiente de difusividad, A el área de interfase, Yf el espesor de la película, C el índice de concentración de saturación en la película gaseosa y Cr la concentración en la masa líquida.

$$\text{dado que } \frac{C_s}{C_g} = S$$

coeficiente de distribución, se puede escribir, teniendo en cuenta la presión a la que será aplicado al aire ozonado y siendo P esta presión y Pa la presión atmosférica:

$$C_s = S.C_g \frac{P}{P_a}$$

Las condiciones favorables para obtener una velocidad de transferencia elevada serán, por consiguiente:

ambiente. Su descomposición es mucho más rápida a elevadas temperaturas o en presencia de humedad o materias oxidables y es catalizada entre otros compuestos por N_2O^5 .

En solución acuosa, la velocidad de autodestrucción del ozono depende del pH, del género y concentración de las sales disueltas y es muy favorecida por la presencia de iones OH. En la descomposición de ozono en función al tiempo, que demuestran la influencia considerable del pH y, una curva de descomposición en un agua natural.

La descomposición se efectuaba según leyes de segundo orden o de 3/2 de orden, pero en la práctica, se ha demostrado que una ley del tipo:

$$\text{Log } \frac{R_0}{R} = a (T - T_0),$$

siendo R_0 y R los residuales de ozono que pueden ser encontrados en el agua en los tiempos T_0 y T y siendo a el coeficiente de descomposición, era suficientemente precisa para permitir efectuar previsiones.

a = velocidad de desaparición del agua ozonada, para diferentes valores del coeficiente de desaparición.

Para obtener todos los efectos, la ozonización debe ser realizada en dos fases sucesivas.

En primer lugar, saturar la demanda inmediata oxidando el agua tratada y, acto seguido, crear y mantener la presencia de un exceso de ozono, es decir, de un residual de ozono.

Si bien la autodestrucción desempeña únicamente una función secundaria durante la primera fase, durante la segunda, se opone naturalmente al mantenimiento del exceso de ozono.

4.13.4 MODOS DE APLICACION DEL OZONO

4.13.4.1 CONSIDERACIONES TEORICAS

Las disoluciones de ozono siguen la ley de Henry, ya que las cantidades disueltas se encuentran en función de la temperatura y presión. Es cómodo utilizar el coeficiente de distribución, α

a la tensión máxima admisible. No obstante, el precio de costo del oxígeno gaseoso es, en este caso, el factor determinante del interés práctico de esta solución.

Un estudio sistemático de la ozonización, efectuado recientemente tiende a probar que el rendimiento máximo a una presión cerca na a la atmosférica expresada en grado de conversión del oxígeno de ozono se alcanza para mezclas de oxígeno nitrógeno con un 68% de nitrógeno (lo cual corresponde a un enriquecimiento cercano al 16%) y disminuye rápidamente en las mezclas del 75 al 81% de nitrógeno, probablemente a causa de la acción inhibitoria de los óxidos de nitrógeno.

El rendimiento energético depende de la concentración del aire-ozono. Esta concentración varía, en la práctica de algunos gramos a 25 g/m³ y el rendimiento energético óptimo corresponde a 14 g/m³ aproximadamente de ozono, es decir, aproximadamente un 1% del peso y varía bastante poco entre 10 y 20 g/m³. Su valor es el orden de 21 KWh/kgO³, del cual, el 15% aproximadamente de la energía en las condiciones medias de funcionamiento) es consumida para alimentar los servicios dependientes (sobrepresor, acondicionado del aire y circulación del agua de refrigeración). El consumo de energía de producción W(WWh/g) es determinado en función de la concentración C (g/m³) mediante la fórmula:

$$W = \frac{C + 35}{3} + \frac{65}{C}$$

que corresponde a una concentración óptima de: $C_{min} = 14 \text{ g/m}^3$. Pero es interesante observar con más detalle los valores numéricos:

C	1	2	5	10	14	15	20	25	30
W	77	49	26	21,5	20,6	20,9	21,6	22,6	23,9

Entre 10 y 20 g/m³, la variación es muy pequeña y las elevadas concentraciones útiles para la desagregación de ozónidos ya no son costosas.

4.13.3.2 ESTABILIDAD DEL OZONO

El aire ozonado seco se descompone lentamente a la temperatura

-30°C a -60°C) con objeto de mejorar el rendimiento energético y la resistencia de los dieléctricos y electrodos. La ozonización de aire húmedo lleva, en efecto a la formación de óxidos de nitrógeno y, en consecuencia, de restos de ácido nítrico.

El secado profundo del aire de alimentación puede ser efectuada por el enfriamiento del aire mediante la utilización de absorbentes porosos de gran superficie específica (geles de silicio o alumina activados) o mediante estos dos procedimientos en serie en la corriente gaseosa. Esta desecación en dos fases es la regla para las grandes unidades de producción continua y, permite recoger, en una primera fase, una importante fracción del agua en forma condensada, sin fenómeno de congelación y hacer trabajar la unidad de secado mediante absorbentes en condiciones uniformes de carga. Todo ello favorece la programación y regulación de las operaciones de regeneración del adsorbente y permite que los adsorbedores funcionen con el mejor rendimiento posible.

Las tensiones de emanación son limitadas por la aparición de arcos (o chispas) de unos veinte kilovoltios en los ozonizadores industriales. Las grandes unidades son generalmente alimentadas de forma directa con corriente industrial de 60 Hz mediante un transformador elevador cuya tensión primaria puede ser ajustada por un regulador de inducción. Pese a que el rendimiento de la ozonización aumenta con la frecuencia de la corriente, con un máximo poco marcado hacia 500 Hz, el costo de instalación y mantenimiento de un dispositivo convertidor de frecuencia (estático o dinámico) tiende a reservar la utilización de frecuencias superiores a 60 Hz, a las grandes instalaciones.

La producción de ozono aumenta regularmente con la tensión aplicada (pero aparece un límite cuando el chisporroteo es demasiado importante). Esta producción aumenta también con el flujo de aire seco, pero cada vez más lentamente por los flujos elevados. Por último, si se añade cierta cantidad de oxígeno (del 1 al 20%) al aire seco, el incremento del rendimiento de ozono es ligeramente superior al incremento del porcentaje de oxígeno, por lo menos en tensiones elevadas: de este modo, un enriquecimiento del 10% se manifiesta mediante un incremento del 11 al 12% de la producción,

minuir sensiblemente las contaminaciones de los depósitos de tratamiento (decantadores, filtros) y, en realidad, favorece en el caso de coagulación mediante reactivos de varias valencias, la insolubilización completa de los residuos de hidrólisis.

Pero el interés principal de esta ozonización previa reside en el hecho que los utilizadores, estadísticamente hablando prefieren la calidad del agua que ha experimentado una pre y postozonización con el mismo coeficiente global.

4.13.3 PRODUCCION Y TRANSFERENCIA DEL OZONO

4.13.3.1 PRODUCCION DEL OZONO

En la práctica del tratamiento de aguas, el ozono es exclusivamente utilizado, en realidad, en forma de aire enriquecido de ozono. El aire ozonado es obtenido por emanación de una corriente de aire perfectamente seca, mediante una corriente alterna de baja frecuencia y a alta tensión en el interior de un condensador (coaxial o plano).

Los diferentes tipos de ozonizadores utilizados son: ya sean modelos de placas, o bien modelos tubulares. Estos ozonizadores poseen dos electrodos concéntricos. Se puede utilizar ya sea un electrodo central de alta tensión de acero inoxidable y un electrodo de masa constituido por la camisa de agua de refrigeración, o bien un electrodo central obtenido por metalización de un "dedo" de guante de cristal pirex y un electrodo de masa constituido por un tubo de acero inoxidable enfriado mediante circulación de agua. En todos los casos el dieléctrico es una hoja o un tubo de cristal colocado entre los electrodos y los dieléctricos se acondicionan un espacio anular de algunos milímetros destinado a la circulación de aire y tratamiento. Un ozonizador industrial tubular está constituido, en la práctica, de un haz de algunos centenares de estos tubos cerrados en un recinto hermético cilíndrico, de acero inoxidable.

El fluido de alimentación es el aire a una ligera sobrepresión de 0.5 a 1 atmósfera. Es preciso obtener un secado muy profundo del aire admitido en el ozonizador (punto de rocío del orden - -

timo en los casos accidentales de gran contaminación bacteriana, la aplicación de elevadas dosis de ozono no creará ningún problema de sabores y olores, mientras que la utilización masiva de compuestos clorados puede originar sabores, en presencia de restos muy ligeros de fenoles, por ejemplo.

4.13.2.2 ACCION VIRULICIDA

El ozono también actúa rápida y radicalmente sobre numerosos virus. Parece ser que el modo de acción sea, al igual que en el caso de las bacterias, una oxidación global de la materia viral.

Recientemente se han realizado pruebas de determinación del poder de inactivación del ozono respecto a diferentes virus (responsables, especialmente, de la poliomielitis y otros enterovirus).

Existe un límite de contenido residual de ozono (0.3 g/m^3) -- por encima del cual la inactivación es total. Si este coeficiente es mantenido como mínimo durante 4 minutos, el coeficiente de inactivación es superior al 99.99% de los virus presentes al comienzo.

4.13.2.3 ACCION SOBRE EL PLANCTON

La aplicación de la ozonización en coeficientes de 0,5 a 1 g/m^3 , destruye también las algas y los protozoarios. Los moluscos adultos de pequeña dimensión son relativamente resistentes (80% de mortalidad en 30 minutos en 2.2 g/m^3) ya que sus larvas son destruidas en un 98% en tiempos más breves. La mortalidad de los demás elementos del plancton (exceptuando los quironómidos).

4.13.2.4 INTERESES DE LA OZONIZACION PREVIA

En experiencias realizadas a nivel semi-industrial la ozonización previa, si bien es aplicada según un método bien adaptado a la calidad del agua tratada, no debe conducir a que se consuman cantidades de ozono muy superiores a las requeridas por una ozonización posterior única, bajo reserva de que se proceda a una reutilización del aire del ozono residual de la post-ozonización. Esta preozonización hace que la dirección de los tratamientos de esterilización bacteriana y viral, de decoloración y desodorización sea más sencilla y segura. La preozonización tiene la ventaja de dis-

tribución se reduce a 0.05 - 0.1 g/m³.

4.13.1.3 HIDROCARBUROS

Estos productos son incluidos en parte en el extracto clorofórmico. Recientemente, los soviéticos han efectuado trabajos sobre la ozonización en laboratorio de emulsiones de petróleo bruto - - - (de 6.5 a 200 mg/l). Si bien la destrucción del petróleo bruto en 10 minutos es imperfecta (persiste un olor de Keroseno) se obtiene en el mismo tiempo, la total desodorización de la mezcla keroseno-gasolina. La demanda (experimental) de ozono es de 1.5 a 1.7 g/03 por gramo de producto.

4.13.2 ACCION ESTERILIZANTE DEL OZONO

4.13.2.1 ACCION BACTERICIDA

Este es el objeto inicial de la ozonización en el agua, la amplitud del poder bactericida del ozono es sumamente antigua y sus resultados son actualmente clásicos. Un estudio más reciente de los mecanismos de ozonización de las bacterias, ha demostrado que el ozono actuaba de forma rápida sobre éstas, bajo reserva del mantenimiento de un residual después de un tiempo de contacto definido. Probablemente esto se debe a una ozonización de la masa de -- las proteínas bacterianas por un proceso de oxidación catalítica, mientras que el cloro actuaría por envenenamiento enzimático selectivo de los centros vitales de la bacteria, según un proceso relativamente lento debido a los intervalos de tiempos necesarios para la difusión en el citoplasma.

Los ensayos efectuados en gérmenes-prueba convencionales - - (E. Coli, Clostridium perfringens) precisan coeficientes (con una letalidad de un 99%) residuales comparables de cloro y ozono: de 0.2 a 0.5 g/m³ en suspensiones bacterianas en laboratorio. Por el contrario, los tiempos de contacto se encuentran frecuentemente en una relación superior a 10. La esterilización mediante el cloro hará que se efectúe el tratamiento en instalaciones de gran volumen, con objeto de garantizar un tiempo de contacto suficiente. Además, el ozono es más activo que el cloro respecto a las esporas y quistes, si se aplica cada reactivo en las condiciones óptimas. Por úl

ple inyección de aire o de oxígeno. Por ejemplo se observará que las sales ferrosas solubles se transforman en sales férricas insolubles, se observará una disminución del poder reductor del agua tratada (DQO), una oxidación de los sulfuros, de los hidróxidos férricos, etc. Estas oxidaciones se efectuarán generalmente en relaciones estequiométricas, en donde cada molécula de ozono proporciona un átomo de oxígeno activo y una molécula de este elemento.

Sin embargo precisamente a causa de los reducidos coeficientes utilizados, estas oxidaciones de tipo convencional pueden ser incompletas. Además el efecto esterilizante sin ser nulo puede ser exclusivamente parcial y el efecto sobre los sabores, olores y color puede ser incompleto.

Las ozonizaciones de este tipo han sido, históricamente, las primeras utilizadas para el tratamiento de aguas potables y han llevado a resultados excepcionales en ausencia de fuertes contaminaciones o compuestos complejos.

La destrucción obtenida mediante el ozono para los di y trifenoles al 0.2 mg/lit (solución coloreada) y los naftoles a 0.5 mg/lit se efectúan en 10 min.

4.13.1.1 LOS DETERGENTES

Son parcialmente oxidados por el ozono: se ha observado que los coeficientes de las aguas brutas varían de 50 a 300 u g/lit -- (expresados en Lauril Sulfato de Sodio) son reducidos en más de un 90% mediante un tratamiento que incluye una ozonización final de 2.5 a 4 g/m³ y se observa que la eficacia del tratamiento se debe fundamentalmente al ozono, ya que los contenidos correspondientes de las aguas decantadas y filtradas era aproximadamente un 70% de los contenidos iniciales.

4.13.1.2 SUSTANCIAS EXTRACTIBLES MEDIANTE CLOROFORMO (S.E.C.)

Los resultados de operación obtenidos a muy gran escala en -- una planta de 100.000 M³/día que abastece el noroeste de la aglomeración urbana parisiense, han demostrado una eliminación excelente de estos productos: con coeficiente inicial de 0.5 a 1 g/m³ en el agua bruta, los coeficientes en el agua ozonada de la red de dis-

Parece ser que es en el seno de los solventes ionizantes, de los que el agua forma parte, donde la estabilidad de los ozónidos es más débil. También se ha observado que tanto elevadas concentraciones de ozono como tiempo de ozonización prolongados, originan la descomposición de los ozónidos más estables.

Por último, en la acción catalítica, el oxígeno, presente simultáneamente con el ozono es el oxidante principal, ya que la oxidación se produce a temperaturas más bajas y a una velocidad mayor que en presencia del oxígeno o del aire únicamente. Contrariamente a lo que ocurre en muchas catálisis, el ozono, agente catalítico, no se encuentra intacto después de la operación, debido a la especial propiedad de autodestrucción de este cuerpo.

Las reacciones de adición y la acción catalítica son especialmente interesantes en el tratamiento de aguas. Numerosas cuerpos, tanto minerales como orgánicos son sensibles a la acción del ozono, incluso en las especiales condiciones de empleo impuestas (en frío y en medio diluido). Entre estos cuerpos destructibles o eliminables por ozonización podemos citar los siguientes: los contaminantes convencionales (hierro, manganeso; materias, húmicas, proteínas y ácidos aminados), los compuestos responsables del deterioro del sabor, del color o del olor de las aguas, los cuerpos considerados en la actualidad como microcontaminantes orgánicos (detergentes, sustancias extractibles mediante cloroformo, fenoles, hidrocarburos y quizá pesticidas). Además el ozono posee un poder bactericida y virulicida importante, con la reserva de ser aplicado en un coeficiente cuyo resultado sea la formación de un residual libre superior a un valor límite y ello durante un tiempo suficiente. La oxidación catalítica es la que destruye directamente las proteínas y los aminoácidos y proporciona una cómoda explicación de las propiedades bactericidas y virulicidas enérgicas del ozono.

Los efectos de la ozonización pueden ser sumamente diferentes según las modalidades de aplicación del ozono al agua y el grado de contaminación de esta última.

En dosis reducida y con un tiempo de contacto breve, se beneficiará, no obstante, de una oxidación del tipo convencional, frecuentemente más enérgica y rápida que la obtenida mediante una sim

- eliminación completa de los fenoles,
- disminución considerable del contenido de detergentes,
- disminución sumamente sensible de las sustancias extractibles mediante cloroformo.
- esterilización completa del agua,
- inactivación de los virus

No obstante, la segura obtención de estos resultados en condiciones económicas aceptables, requiere, en primer lugar, una técnica elaborada de la aplicación del ozono al agua que se trata de rectificar y, en segundo lugar, una tecnología de producción del ozono correcta.

4.13.1 ACCION DEL OZONO

El interés que presenta el ozono para tratamiento de agua, -- procede tanto de sus características oxidantes especialmente energicas que son aprovechadas para degradar o eliminar ciertas sustancias orgánicas o minerales indeseables, como de su excelente poder bactericida y virulicida.

La acción oxidante del ozono puede presentar tres formas diferentes:

- oxidación directa por pérdida de un átomo de oxígeno
- oxidación directa por adición de la molécula de ozono en el cuerpo oxidado. (esta es la primera fase del proceso convencional de ozonólisis).
- oxidación mediante efecto catalítico que favorece la función oxidante del oxígeno que le acompaña en el aire ozonado.

En el primer caso se obtiene reacciones sumamente energicas pero comparables a las obtenidas con otros oxidantes más comunes.

En el segundo caso, se observa la formación de ozónidos especialmente cuando se produce la acción del ozono en los compuestos no saturados que poseen dobles enlaces. Esta formación es muy importante; los ozónidos son generalmente inestables y al destruirse producen un desdoblamiento químico de la molécula orgánica, desdoblamiento que explica la eficacia de la ozonización si, por ejemplo, se la compara con la del cloro.

I_c = intensidad de la luz ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$)

F = eficiencia de la conversión de la luz

La eficiencia de conversión de la luz solar a energía de las algas varía del 2 al 9%, siendo común 5%.

4.12.6 pH

El proceso de respiración produce CO_2 y por consiguiente, tiende a bajar el pH de la hidromasa; inversamente, la fotosíntesis involucra consumo de CO_2 y produce un ascenso del pH.

De acuerdo con la relación cualitativa producción-consumo de CO_2 , el pH de las lagunas estará sujeto a variaciones horarias que dependen principalmente de la energía luminosa incidente.

Cuando la energía luminosa suministrada es menor de $13/\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$, el valor máximo detectado para el pH es de 8. cuando la energía luminosa es mayor de $178 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ se incrementa el pH hasta un límite de 11.2 que ha sido experimentalmente cuantificado. En las lagunas aeróbicas la gama de variación diaria de pH esta comprendida entre 7.5 y 10.5.

El desarrollo de la actividad biológica. Se encuentra estrechamente vinculado con el pH. Las bacterias aeróbicas se desarrollan de una variación de pH comprendida entre 7 y 9, el proceso de fotosíntesis requiere pH entre 4.5 y 7.5 para producir ácidos orgánicos a partir de los carbohidratos, proteínas y grasas, y las bacterias productoras de metano requieren una gama de 6.8 a 7.2.

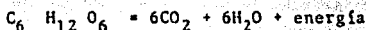
El pH esta indirectamente relacionado con la DBO, la correlación es lineal y expresa un descenso de valores de pH, para DBO crecientes. La disminución de temperaturas de laguna desde 20°C a 9°C , provoca un incremento en la pendiente de las rectas; esto es, una mayor disminución de pH para una diferencia dada de DBO.

4.13 OZONIZACION

La utilización apropiada del ozono para el tratamiento del agua permite obtener concretamente los siguientes resultados:

- eliminación de los sabores y olores, del hierro complejo y del manganeso,
- descoloración completa del agua,

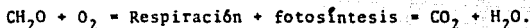
y respiración. Durante la oscuridad de la noche las algas respiran O_2 liberando CO_2 al agua. Las ecuaciones que resumen esta acción son:



Durante el día se produce la fotosíntesis, cuya ecuación es:



Combinando la respiración y la fotosíntesis se obtiene la ecuación:



A primera vista parece existir un equilibrio permanente entre los dos procesos, lo que en realidad no ocurre, ya que la razón de producción de O_2 por las algas es muy superior al consumo de O_2 del proceso de respiración, y en aguas que contienen suficiente cantidad de algas verdes hay una sobresaturación de O_2 . Mientras las algas puedan proveer un exceso de O_2 superior al requerido por las bacterias, se mantendrá un proceso aeróbico y bajo estas condiciones dichos organismos aerobias podrán degradar el material orgánico.

La fracción de energía luminosa utilizada en la fotosíntesis se expresa como

$$I = I_0 e^{-Kcd}$$

I = Intensidad de la luz después de atravesar el medio

I_0 = Intensidad de la luz incidente

K = Coeficiente de adsorción

c = Concentración de algas

d = Profundidad

La producción de oxígeno por las algas de una laguna está relacionada a la eficiencia en la conversión de la luz y a la intensidad de la luz.

$$O_2 = .25 FIC$$

flujo medio diario del influente y V el volumen de la laguna. El tiempo real de retención puede no coincidir con el teórico. Esto ocurre cuando hay cortocircuito, y entonces resulta menor.

Se puede determinar el tiempo real de retención usando un método experimental similar al utilizado en tanques sedimentadores. Fundamentalmente consiste en agregar una concentración conocida de un trazador adecuado (litio, fluorescencia, etc.) En el influente y determinar diariamente en el efluente la proporción de trazador existente.

El tiempo de retención es un importante parámetro de diseño directamente relacionado con la eficiencia del proceso.

Por ello, es fundamental evitar los flujos en cortocircuito mediante un diseño adecuado de los dispositivos.

4.12.5 OXIGENO DISUELTO

En las capas superiores de la laguna la degradación de la materia orgánica es producida por bacterias aerobias cuyos requerimientos de oxígeno pueden ser suministrados por dos procesos:

a) REAERACION ATMOSFERICA

Cuya valoración cuantitativa puede hacerse utilizando la fórmula:

$$R = .0271 (a) (d) (D_o)$$

donde

R = Reaeración, en lb. de O₂ por acre/día.

d = Profundidad de la laguna, en pies

a = Factor de valor empírico (aproximadamente 20).

D_o = déficit medio diario de saturación de O₂, en mg/lit.

La reacción atmosférica es insuficiente para satisfacer la demanda de O₂ que requiere la degradación de la materia orgánica que se aplica en las lagunas de estabilización.

b) EL OXIGENO PRODUCIDO POR LAS ALGAS

La estabilización de la materia orgánica en las lagunas se lleva a cabo. Por la combinación de los procesos de fotosíntesis

los contaminantes físicos moleculares y biológicos que en forma permanente u ocasional interviene en la composición del caudal entrante. Su determinación implica la realización de numerosos análisis de laboratorio:

Los más indispensables son las determinaciones de DBO, NMP, y sólidos en sus distintas formas.

4.12.3.1 DBO

La DBO a cinco días y 20°C es la de uso frecuente en el control de operación. Sin embargo, para su utilización en las lagunas es necesario tomar en cuenta la siguiente limitación: Al comparar los valores de la DBO influente con la del efluente, para determinar eficiencias se presenta el problema de comparar resultados que no están relacionados por una misma ley de variación. La DBO influente está en la primera etapa de degradación (de la materia carbonacea) y la DBO efluente esta ya casi totalmente fuera de esta etapa.

De acuerdo a la evolución de los criterios de diseño de lagunas de estabilización se puede aplicar cargas orgánicas superior a los 100 kg/DBO/ha x día.

Cargas que son aceptables siempre que no se produzcan condiciones excesivamente sépticas y mientras la DBO del efluente se mantenga dentro de los límites establecidos al proyecto.

4.12.3.2 NMP

El número más probable de microorganismos del grupo coliformes (NMP) es también un útil indicador de la polución.

Para la determinación del NMP de E. Coli se puede emplear caldo lactosado.

Es normal que las diversas pruebas con varias muestras tengan fluctuaciones. El rango de magnitudes registradas puede ser desde los cientos de miles de millones hasta descender a decenas es común la presencia de salmonella, shigella, E. Coli, Klebsiella y streptococcus F.

4.12.4 TIEMPO DE RETENCION

El tiempo de retención se define como $R = v/q$; donde q es el

significativa se hace necesario corregir estos parámetros, la ecuación aplicable es:

$$\text{efluente} = (\text{influyente} + \text{precipitación}) - \text{evaporación}$$

4.12.2.2 INSOLACION

La influencia de este factor ha sido demostrada en numerosas experiencias. El proceso fotosintético de las algas se realiza en presencia de la luz energía requerida puede ser derivada solo de luz cuya longitud de onda este comprendida entre 4,000 A° a 7,000A°. Esto limita el aprovechamiento de radiación global a un 40 por ciento.

Además, por reflexión de la superficie del agua se pierde -- aproximadamente un 40% de la radiación incidente. El proceso fotosintético tiene un punto límite para la utilización de la energía luminosa llamado "saturación de intensidad". Para las algas, la intensidad de saturación es de 500 bujías - pie. Si se compara este valor con las 10,000 bujías - pie del sol, la eficiencia en la utilización de la bujía - pie del sol, la eficiencia en la utilización de la luz en la fotosíntesis es relativamente baja se ha determinado que son necesarios .6 cal/cm²/día de radiación visible por cada kg. de DBO/m/día removidas.

4.12.2.4 VIENTOS

Este es un factor que puede intervenir favorablemente en el -- proceso de proveer un mezclado por corrientes verticales dentro de la laguna, ayudando de este modo a la reoxidación y promoviendo una mejor distribución de los nutrientes.

Se considera que para que el viento produzca una acción efectiva de mezclado, es necesario que su velocidad sea mayor de 50 km/h.

4.12.3 CARGA ORGANICA

Este concepto involucra a dos factores:

El volumen y la polución del influente

a) VOLUMEN. La importancia de este factor radica en que está directamente relacionado con el periodo de retención.

b) POLUCION DEL INFLUENTE. La carga de polución comprende a

donde:

t: tiempo requerido para la reacción a una temperatura T

to: tiempo inicial, para la reacción de la temperatura To

T: temperatura del agua de la laguna, en °C

To: temperatura inicial del agua de la laguna

p: equivale a $e^{C'}$ (valores medios de 1.085)

A temperaturas mayores de 35°C se presentan efectos nocivos tales como: proliferación de algas verdiazules, originando manchas superficiales, disminución de la actividad de las algas verdes: aumento del ritmo de consumo de oxígeno por las bacterias y de producción de gases en el sedimento acumulado en el fondo. A temperaturas inferiores a 4°C la actividad de algas y bacterias se hace insignificante.

Por lo tanto, la gama de variación de la temperatura para el proceso de autodepuración de las lagunas está comprendida entre -- 4°C y 35°C.

Por lo general:

a) las variaciones de temperatura afectan a la eliminación de la DBO.

b) Dentro de ciertos límites, esta eliminación de la DBO aumenta con la temperatura.

c) Los cambios de actividad biológica debidas a las variaciones de temperatura afectar al pH, NMP de organismos coliformes, color, sólidos en suspensión, trasmisión de la luz y a las especies predominantes de algas.

d) Es posible establecer, para el diseño, una ecuación que relaciona la temperatura ambiente y la carga de la laguna.

4.12.2.2 PRECIPITACION PLUVIAL Y EVAPORACION

Actúan de modo dependientes. Si hay predominio de la precipitación se produce la dilución del efluente, y su concentración si predomina la evaporación. En consecuencia se modifican las D.B.O. efluentes, eficiencias y tiempo de retención; si la variación es --

4.12.1 DISEÑO

El diseño suele guiarse por el efecto de la temperatura, el tiempo de extensión y la reducción de la D.B.O.

La fórmula empleada es:

$$V = \frac{Q V_y T_o}{200} p (t_o - t)$$

Donde: V = Volumen de la laguna, en m³

Q = Gasto suministrado, en m³/día

Y = D.B.O. en el influente en mg/l

T_o = Tiempo de retención original

para la reacción a una temperatura t_o en días.

p: e^{C'} = constante = 1.072

C' = característica de temperatura igual a .0693

t_o = temperatura del agua de prueba (por lo común 35° C.)

t = temperatura del agua en el mes más frío del año en °C.

y la ecuación:

$$V = 3.5 Q y (1.072^{(35-t)}) 10^{-5}$$

donde:

y = DBO 200 valor promedio para aguas utilizadas

Eficiencia = (Dato de Proyecto)
valor medio 90%

DBO: efluente (dato de proyecto)

Q: Gasto (Dato de proyecto)

4.12.2 VARIABLES DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS

4.12.2.1 TEMPERATURA

La temperatura influye directamente en la rapidez de las reacciones químicas y biológicas. La rapidez de las reacciones en el interior de una substancia se duplica por cada 10°C de incremento de temperatura y dentro de ciertos límites; esta regla es aplicable a las reacciones biológicas y puede expresarse como

$$\frac{t}{t_o} = e^{C' (t_o - t)} = p(t_o - t)$$

4.12 LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Este es uno de los procesos de tratamiento biológico de aguas utilizadas, su efecto consiste en remover o estabilizar la materia orgánica y mineral disuelta. El proceso es económico tanto en diseño, construcción, mantenimiento y operación.

El proceso surge de la necesidad de suministrar a las aguas -- utilizadas, un tratamiento mínimo de purificación antes de descargarlas a corrientes naturales, lagos, mares, etc.

El proceso es en general aerobio y acepta cargas orgánicas -- grandes.

Una laguna de estabilización es un depósito en el cual se retiene el agua con objeto de degradar la materia orgánica contenida en ella mediante la actividad metabólica de bacterias y algas. Si los procesos desarrollados son aerobios, la laguna se denomina de oxidación, si son tanto aerobios como anaerobios se llama facultativa.

En ambos procesos de autodepuración intervienen factores físicos moleculares y biológicos en estrecha correlación; las más importantes son las siguientes:

a) Físicos:

Temperatura ambiente y del agua
 Insolación
 Infiltración y evaporación
 precipitación pluvial
 Vientos
 PH

b) Moleculares:

D.B.O.
 Elementos y compuestos nutrientes
 Contaminantes resistentes a su desdoblamiento.

c) Biológicos:

Fotosíntesis,
 Bacterias,
 Algas

miento, y tipos de lechos, son las siguientes:

<u>TIPO DE TRATAMIENTO</u>	<u>LECHO ABIERTO</u>	<u>LECHO CERRADO</u>
Primario	.092	.069
Filtro intermitente de arena	.092	.069
Filtro de filtración ordinaria	.115	.092
Filtro de filtración rápida	.138	.115
Lodo activado	.161	.124
Precipitación	.184	.138

Para usar los lechos, el lodo se extiende sobre ellos, con un espesor de 30 a 45 cms. y se deja secar lo suficiente para que se pueda levantar con pala o rastrillo. Un lodo de óptima calidad, secará en menos de 2 semanas.

Los lechos para filtración del lodo, se hacen con arena gruesa, en un espesor de 30 a 60 cms, o con cenizas bien cernidas, con arenilla de la cámara desarenadora y otro material similar, establecidos sobre una capa de 30 cms de grava gruesa, que cubre drenes de tubería de 15 o 20 cms de diámetro con juntas abiertas, a una profundidad de por lo menos 15 cms. Los 7.5 cms. superiores de la capa de grava, por lo menos deben ser de partículas de 3 a 6 mm. Los drenes subterráneos pueden establecerse a una distancia entre centros de 1.2 a 6.0 m, según sea la porosidad del subsuelo. El drenaje de estos drenes, debe devolverse al tanque primario. Las paredes laterales de los filtros se hacen de concreto o con bordos bajos de tierra. Es recomendable construir un cierto número de unidades pequeñas, mejor que pocos lechos grandes, pues se logra así mayor flexibilidad en el funcionamiento.

El lodo desecado puede recogerse de los lechos a mano, rastreando y teniendo cuidado de no sacar arena con el lodo. El material levantado puede cargarse en carros que se mueven sobre rieles tendidos sobre el lecho. También pueden usarse rastrillos mecánicos y tractores con palas y depósitos colocados a los lados.

La lluvia normal por lo general no retarda la desecación del lodo sobre el lecho, por lo que el lodo que se haya humedecido ligeramente durante el período de desecación, se seca casi tan rápidamente como el no humedecido.

- c) menor contenido de cenizas en la torta del filtro
- d) La no necesidad de cal.

Cuando un lodo se somete a elutriación, una sola vez, en un tanque de sedimentación, el proceso recibe el nombre de elutriación de una sola fase. Si el agua de elutriación se divide en dos o más fracciones y el mismo lodo se trata sucesivamente con cada fracción, el proceso se llama elutriación fraccionada. Si el agua de la elutriación de un lodo que se ha elutriado con agua nueva, se usa para lavar una nueva carga de lodo no elutriado, el proceso se llama elutriación contra-corriente.

Este último proceso es el que más reduce la mala calidad debida a alcalinidad respecto de la elutriación fraccionada y la elutriación de una sola fase.

4.11.9 LECHOS DE ARENA

En instalaciones pequeñas y en ocasiones en las medianas, se deseca el lodo al aire libre. El producto de la desecación es inocuo y posee un olor semejante al de los fertilizantes. La desecación del lodo sobre filtros de arena gruesa, es la más adecuada para lodos con textura ligera y porosa que permiten un buen drenaje, características que suelen corresponder a los lodos bien digeridos. El lodo de la sedimentación simple, de la precipitación o del proceso de activación, posee demasiada humedad y no es recomendable desecarlo, o al menos por éste procedimiento. Pero, cuando así se requiera, pese a lo anterior, puede agregarse al lodo a medida que este se extiende sobre los lechos de arena, cal o alumbre; los cuales ayudan a la desecación al mantener la porosidad del lodo, pues de hecho cuando el lodo se coloca sobre el lecho de arena, tiene la tendencia a asentarse, formando una masa pesada, compacta e impermeable que secaría muy lentamente.

El alumbre se agrega a razón de 1 Kg por cada m^3 de agua. El uso de la cal evita el desprendimiento excesivo de gases y el desarrollo de insectos.

El área de superficie necesaria depende de la calidad del lodo. Algunas áreas típicas requeridas para lechos de desecación de lodo hechos de arena, en m^2 , por habitante; para diversos tipos, de trata

del HCO_3^- como del CO_3 . Por lo general, el ácido carbónico se neutraliza por tratamiento del vapor (ya sea directamente o en forma indirecta a través de la caldera) para producir un pH del condensado en el intervalo de 8.5 - 9.0. Entonces es deseable reducir la alcalinidad del agua de alimentación para que la formación de CO_2 sea mínima, y reducir así los costos de tratamiento.

El hidróxido producido por la descomposición del HCO_3^- como -- del CO_3 es benéfico para la precipitación del magnesio, para dar un buen medio para el acondicionamiento de los lodos, y para hacer mínimo el arrastre de SiO_2 .

Sin embargo, un exceso demasiado alto de cáustico puede ser corrosivo, en particular si puede ocurrir una concentración localizada.

La descomposición del HCO_3^- es completa, pero no todo el CO_3 se convierte en cáustico. La conversión varía de una caldera a otra y aumenta con la temperatura. Como regla general, a 600 psi, 65-85% de la alcalinidad del agua de la caldera es NaOH y el resto Na_2CO_3 .

El grado de reducción de alcalinidad es dictado, por lo tanto, por los límites de control del agua de caldera y por las metas de calidad del vapor.

El mejor proceso unitario para la reducción de la alcalinidad puede escogerse tanto por los otros beneficios que proporcione como por su eficiencia en la reducción de la alcalinidad.

5.3.2.4 SILICE

Las concentraciones permisibles de sílice en el agua de caldera a varias presiones de operación son:

Presión PSI	Límite recomendado mg/l
0-300	150
301-450	90
451-600	40
601-750	30
751-900	20
901-1000	8

La reducción de la sílice no siempre es necesaria, sobre todo en ausencia de una turbina de condensación. Las bajas concentraciones de sílice pueden producir a veces lodos pegajosos en las calderas de baja presión tratadas con fosfato.

5.3.2.5 SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

Algunos procesos de tratamiento. Los sólidos disueltos al añadir subproductos solubles al agua; el ablandamiento con zeolita de sodio aumenta los sólidos en virtud de la adición de un ión (sodio) que tiene un peso equivalente (23) más alto que el de el calcio (20) o el del magnesio (12.2) que se remueven del agua cruda.

Los procesos para reducir sólidos disueltos se logra con varios grados de éxito.

Por lo general, la reducción de los sólidos disueltos se logra por una reducción de varios contaminantes individuales.

5.3.2.6 MATERIA ORGANICA

La materia orgánica, como una clasificación general, es solo un término cualitativo. Incluye una amplia variedad de compuestos que rara vez se analizan como materiales específicos.

Con frecuencia se han rastreado problemas en sistemas de calderas que se atribuían a la materia orgánica y se ha visto que se debían a materiales orgánicos de los procesos de la planta en el condensado de retorno, más que propiamente a contaminantes en el agua de reemplazo.

5.3.2.7 GASES DISUELTOS

Por lo común se usan desgasadores para remover los gases mecánicamente. Algunos tipos de ventiladores se usan para remover CO_2 a temperaturas ambiente, después de las unidades de intercambio de ácido o de hidrógeno. Los desgasadores al vacío dan el mismo grado de remoción de CO_2 , pero también reducen el O_2 a menos de .5-1 mg/l, y ofrecen protección contra la corrosión, sobre todo si el desgasador al vacío es parte de un sistema de desmineralización. Los desgasadores de lavado de vapor, llamados calentadores desaeradores, producen por lo general un efluente exento de CO_2 con concen

traciones de O_2 en el intervalo de .005-.01 m/l. La reacción directa de estos bajos residuos con sulfito catalizado o con hidracina elimina el O_2 completamente para eliminar la corrosión en el prehervidor.

Además del tratamiento del reemplazo, una calidad aceptable del agua de alimentación puede requerir de la limpieza del condensado para proteger el sistema de la caldera, sobre todo si hay condensado de proceso que contenga aceite. Las calderas que requieren de agua desmineralizada de alta calidad también exigen condensado de alta calidad. En alguna planta se operan calderas tanto de alta como de baja presión; el agua de alimentación de alta calidad para las calderas de alta presión pueden ser suministrada enteramente por un desmineralizador, separando el condensado de calidad inferior para regresarlo a las calderas de baja presión.

Por lo general se seleccionan filtros de "septo" para el tratamiento del condensado aceitoso. Se aplica un auxiliar de filtración del tipo de celulosa. Se recomiendan temperaturas de operación inferiores a $93^\circ C$ para evitar la degradación del filtro.

Los filtros de antracita precubiertos con un flóculo producido a partir de alumbre y aluminato de sodio son también efectivos. Sin embargo el pH del condensado debe controlarse dentro del intervalo de 7 a 8 para evitar la solubilización del flóculo de alúmina.

El condensado que está contaminado con productos de corrosión y con infiltraciones de agua dura se limpia a través de intercambiadores de sodio de alta tasa de flujo; los que pueden emplearse para temperaturas hasta de $149^\circ C$.

Los condensados de proceso fuertemente contaminados requieren investigación de laboratorio y a nivel planta piloto.

5.3.3 TRATAMIENTO INTERNO

La formación de incrustaciones dentro de una caldera se controla por alguno de los cuatro programas químicos:

1. Coagulación (carbonato)
2. Residuo de fosfato
3. Quelatación
4. Fosfato Coordinado

Además de controlar las incrustaciones y los depósitos, el tratamiento interno debe también controlar el arrastre definido como el arrastre de agua de la caldera dentro del vapor. Las sales de la caldera arrastradas como una niebla pueden depositarse después en el sobrecalentador, y causar roturas de los tubos, o depósitos en las paletas de la turbina. También pueden contaminar algún proceso en el que se usa vapor. Puesto que un alto porcentaje del arrastre es causado por la espuma, este problema se resuelve por la general gracias a la adición de un antiespumante al agua de alimentación de la caldera.

Los lodos en el agua de caldera pueden sedimentarse y formar depósitos, los que representan un problema tan serio como la incrustación. A presiones inferiores, tanto en el programa de coagulación como en el de residuos de fosfato se incorporan agentes acondicionadores de los lodos con este propósito. Se usa una gran variedad de materiales orgánicos naturales, que incluyen almidones, taninos y ligninas. El efecto básico del tanino es impedir el crecimiento de los cristales de CaCO_3 ; además de otras incrustaciones.

A presiones intermedias, se usan también polímeros estables al calor, como los carboxilatos aniónicos como dispersantes efectivos. Un medio alcalino aumenta, por lo general, la efectividad de todos estos dispersantes.

5.3.3.1 PROGRAMA DE COAGULACION

En este proceso se añaden carbonato de sodio o hidróxido de sodio, o ambos, al agua de calderas para complementar la alcalinidad proporcionada por el reemplazo, el que no se ablanda. El carbonato causa la precipitación deliberada del carbonato de calcio bajo condiciones favorables, controladas, previniendo su deposición en algún punto posterior como incrustación. Bajo condiciones alcalinas, el magnesio y la sílice se precipitan también como hidróxido de magnesio y silicato de magnesio. Por lo general, hay una concentración bastante alta de sólidos suspendidos en el agua de caldera, y la precipitación tiene lugar sobre estos sólidos. Este método de tratamiento se usa solamente con calderas que emplean agua de alimentación de alta dureza y que operan abajo de 250 psi.

5.3.3.2. PROGRAMA DE FOSFATOS

Cuando la presión de la caldera es superior a 250 "psi", las altas concentraciones de lodos son indeseables. En estas calderas, la dureza del agua de alimentación debe limitarse a 60 mg/l y se prefieren los programas de fosfatos.

Los fosfatos constituyen también un tratamiento común abajo de 250 psi. con agua blanca de reemplazo.

Un compuesto de fosfato de sodio se alimenta ya sea al agua de alimentación de la caldera o al tambor de la caldera, dependiendo del análisis del agua y de los auxiliares del prehervidor, para formar un precipitado insoluble que es principalmente hidroxapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. El magnesio y la sílice se precipitan como hidróxido de magnesio, silicato de magnesio, o silicato de calcio. La alcalinidad del reemplazo es adecuada, por lo general, para producir el OH^- para la precipitación del magnesio.

5.3.3.3 PROGRAMA DE QUELATANTES

Un quelatante en una molécula semejante a un intercambiador iónico; es de bajo peso molecular y soluble en agua. Las sales de sodio del ácido etilén diamino tetraacético (EDTA) y del ácido nitrilo triacético (NTA) son los agentes quelatantes que se usan con más frecuencia para el tratamiento interno de calderas. Estos "quelatan" (forman iones complejos) con el calcio y el magnesio. Debido a que el complejo resultante es soluble, este tratamiento es ventajoso para hacer mínima la purga.

El mayor costo, comparado con el fosfato, limita por lo general el uso de quelatantes para aguas de alimentación de baja dureza. Existe el riesgo de que la descomposición de la molécula orgánica a mayores temperaturas pudiera crear un problema potencial de control que resultará en una corrosión, así que los programas de quelatantes se limitan por lo común a calderas que operen abajo de 1500 psi (100 bars). La adición de polímeros como agentes de control de incrustaciones aumenta la efectividad de los programas de quelatantes. También reduce el potencial de corrosión al reducir la dosificación del quelatante por abajo de los rendimientos teóricos, por lo que no hay residuos de quelatantes en el agua de caldera.

5.3.3.4 PROGRAMA DE FOSFATO COORDINADO

En las calderas de alta presión, con altas tasas de transferencia de calor, el programa de tratamiento interno debe contribuir con pocos o con cero sólidos. El potencial para el ataque cáustico del metal de la caldera aumenta cuando se eleva la presión, por lo que la alcalinidad cáustica debe hacerse mínima. Para estas condiciones, se escoge el programa de fosfato coordinado. Difiere del programa normal en que el fosfato se añade para dar un intervalo de pH controlado en el agua de caldera, así como para que reaccione con el calcio si entra dureza a la caldera.

El programa se controla alimentando combinaciones de fosfato disódico con fosfato tri o monosódico para producir un pH óptimo sin la presencia de OH^- libre. Para controlar con éxito un programa de fosfato coordinado, el agua de alimentación debe ser extremadamente pura y de una calidad sin variaciones.

5.3.3.5. CONTAMINANTES INTERNOS

Relacionada en cierta forma con el arrastre, en cuando a que afecta la calidad del vapor, está la descarga de contaminantes que se volatilizan a las condiciones de operación de la caldera. Los productos volátiles más importantes son el CO_2 , creado por la descomposición de los carbonatos y bicarbonatos y el SiO_2 . Aunque el CO_2 puede neutralizar, es prudente reducir la alcalinidad del agua de alimentación para que su formación sea mínima. Para todos los propósitos prácticos es necesario reducir la sílice, con ello se evitan descargas excesivas de SiO_2 y se protegen las paletas de las turbinas. Por otra parte, cuando existen en los productos de adición oxidrilos, su alcalinidad ayuda a reducir la volatilidad de la sílice.

El oxígeno es el mayor culpable de la corrosión en los sistemas de calderas. La desaereación lo reduce hasta una baja concentración en el sistema de prehervidor, pero no lo elimina completamente. La aplicación de sulfito o de hidracina después de la desaereación elimina el O_2 remanente y mantiene condiciones reductoras en el agua de la caldera. Una ventaja de la hidracina está en que se descarga dentro del vapor para estar disponible en el condensador.

sado como protección contra la corrosión de oxígeno en el sistema de retorno. Si hay oxígeno presente, el amoníaco puede atacar las aleaciones de cobre en los condensadores y en los calentadores de etapa.

Puede ser necesaria la remoción del NH_3 por tratamiento externo, e internos; pues puede también ser causante de corrosión.

5.3.4 PURGADO

El agua de alimentación de la caldera, con independencia del tipo de tratamiento usado para procesar el reemplazo, todavía contiene concentraciones mensurables de impurezas. Los productos del tratamiento interno del agua de caldera contribuyen también al nivel de sólidos en el agua de caldera.

Cuando se genera vapor, se descarga de la caldera vapor de H_2O , esencialmente puro, y esto permite que los sólidos introducidos en el agua de alimentación se queden en los circuitos de la caldera. El resultado neto de que continuamente se añadan impurezas y se saque agua pura es un aumento estable en el nivel de sólidos disueltos en el agua de caldera. Para evitar que se rebasen estos límites de concentración, se saca agua de la caldera como purga y se descarga hacia el desecho. La purga debe ajustarse de modo que los sólidos que salen de la caldera sean iguales a los que entran y que la concentración se mantenga en los límites predeterminados.

Una manera de ver el purgado de la caldera, es considerarlo como el proceso de dilución de los sólidos del agua, al sacarle agua desde el sistema a una velocidad que induce un flujo de agua de alimentación hacia la caldera, (en exceso) respecto a la demanda de vapor.

Existen dos puntos separados para el purgado en cada sistema de caldera. En uno se encuentra el flujo de purgado que se controla para regular los sólidos disueltos u otros factores en el agua de la caldera. El otro es un purgado intermitente o de masa, que en general proviene del tambor de lodos, o de los cabezales de la pared de agua, y el que se opera en forma intermitente a una carga reducida de la caldera para liberarla de los sólidos sedimentados acumulados en las áreas relativamente estancadas.

5.4 AGUA EN LA INDUSTRIA DEL ACERO

5.4.1 INDUSTRIA DEL ACERO

La industria acerera es una de las que mayor volumen de agua emplea.

En las diferentes partes de los procesos de aceración se emplean por tonelada de acero producida, las siguientes cantidades de agua:

	m^3 de agua
Alto horno	33
Horno de oxígeno básico	3
Horno de hogar abierto	15
Horno de arco eléctrico	11
Colada continua	18
Laminadores de barras (caliente)	4
Laminadores de placas	16
Laminadores de tubos	103
Laminadores de lámina en frío	14
Laminadores de lámina en caliente	66
Planta de coque	19
Tramos de sinter	1.5

Como promedio se emplean $120 m^3$ de agua por cada tonelada de acero producido en plantas integradas.

5.4.2 ALTOS HORNOS

Para mantener este gran horno trabajando de manera eficiente, gran parte del equipo conectado con el, usa agua de enfriamiento en varios puntos. Un alto horno moderno requiere de 65 a 950 l/seg de agua de enfriamiento. Existen rociadores de enfriamiento en la coraza exterior del horno o con tubo o pasajes, que a modo de serpiente envuelven al horno y por medio de los cuales circula el agua. El objetivo principal del agua de enfriamiento es prolongar la vida del refractario en el interior del horno. El agua de enfriamiento del alto horno, se recoge por lo general en un canal circular que rodea al horno. El problema básico del agua para todos estos siste

mas, es la protección contra la corrosión, la incrustación y el ensuciamiento; proveniente de los sedimentos o de los crecimientos microbianos. Cualquiera de estos o cualquier combinación puede existir dentro del sistema de refrigeración de los altos hornos en cualquier momento.

5.4.3 TRATAMIENTO DEL GAS DE ESCAPE

El aire caliente que se inyecta a través del horno, cambia en su composición y se expande en volumen. La velocidad del gas de salida es alta y arrastra sólidos, principalmente polvos finos de mineral, coque y caliza. Este gas sucio pasa a través de un colector de polvo y después continúa hacia un sistema húmedo de lavado. El agua de lavado que contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos, desde 500 hasta valores tan altos como 10,000 mg/lt, debe pasarse por un clarificador y un espesador. Aquí los sólidos se sedimentan y el agua efluente ya puede ser reciclada.

Las mayores concentraciones de sólidos sedimentados del agua, suelen consistir en hierro, sílice y caliza. Las impurezas solubles incluyen por lo general: amoníaco, fenoles y cianuro. Se requiere usar torres de enfriamiento para reducir la temperatura, luego de que el agua sirvió para lavar el gas caliente.

5.4.4 PRODUCCION DE ACERO

5.4.4.1 PROCESO DE OXIGENO BASICO

En este proceso, la lanza de oxígeno debe ser enfriada por agua, también la campana del acerador. Esta agua requiere enviarse después a espesadores, clarificadores; para sedimentar los sólidos y luego puede ser ya reciclada. Es necesario controlar los diferentes pH que se inducen en el agua en el transcurso de toda la hornear da. Un pH muy ácido puede favorecer la corrosión; y un pH muy básico, puede fomentar incrustaciones.

5.4.4.2 PROCESO DE HOGAR ABIERTO

En ellos es necesario enfriar la lanza de oxígeno, los canales de escurrimiento del arrabio y las puertas del horno. El agua que

recircula en los lavadores del agua de salida del horno no es ácida y requiere ser continuamente filtrada. Es un agua que no genera incrustaciones, pero debe controlarse su capacidad corrosiva.

5.4.4.3 HORNO ELECTRICO

El agua se emplea para el enfriamiento de las puertas, el anillo del techo y los anillos y pinzas de los electrodos. El principal problema es la constante pérdida de agua por evaporación, cuando se le enfría: Es necesario agregar agua nueva, y cada vez se va haciendo una agua con más partículas disueltas lo que hace necesario un purgado frecuente.

5.4.5 COLADA CONTINUA

El acero que sale de la colada continua a unos 1550°C, se vacía en una artesa, el fondo de este recipiente tiene una ó más aberturas a través de las cuales se distribuye el acero fundido para formar láminas o lingotes, en el área de formación llamada molde. El molde está refrigerado por agua. El agua de enfriamiento debe ser de la más alta calidad posible y trabajar en un circuito cerrado, enfriada por un segundo circuito abierto. La dureza máxima que se recomienda es de 10 mg/lt, así como usar inhibidores de corrosión. Por la parte externa del molde se rocía agua y al estar en contacto con el lingote o la lámina se contamina con partículas de óxido de hierro. Esta agua se debe procesar enfriándola y pasando la por sistemas de filtración para quitarle los sólidos, ésto último con el objeto de evitar una posible obstrucción de los rociadores, pues el líquido es recirculado.

5.4.6 LAMINADO

5.4.6.1 LAMINADO EN CALIENTE

Es la operación que consume más agua en una acería, un uso medio es alrededor de 51 m³/ton., el agua se usa para enfriar rodillos y para rociarla directamente sobre el acero antes de manejarlo al final de la máquina. Según va pasando el agua sobre el metal caliente de una estación laminadora a otra, los óxidos lavados del --

metal se llevan a un foso de incrustaciones. Existe un amplio intervalo de tamaños de partícula que son arrastrados. Las partículas se separan del agua por cribado y por coagulación en los tanques clarificadores. En el reciclado del agua debe darse atención a los problemas potenciales de incrustación, corrosión, ensuciamiento, actividad microbiana y temperatura.

5.4.6.2 LAMINADO EN FRIO

SISTEMA DE RECIRCULACION

Al agua de recirculación se le adiciona una emulsión débil de aceite, el objetivo aquí es tanto enfriar, como lubricar también la lámina. Toda el agua es recogida para llevarla a tratamientos y reciclarla. Se usa agua dulce sólo en el primero y último molino. Al líquido recogido se le aplica un rompedor de emulsiones para liberar el aceite. Los sólidos básicamente de partículas de hierro se sedimentan, y el aceite se recupera por flotación y se reutiliza para preparar nuevas emulsiones.

El tratamiento de agua para estos sistemas, consiste en sedimentación, floculación, filtración y flotación de aire, los caudales varían entre .8 y $6m^3$ /ton de acero maquilada.

SISTEMA DE UN SOLO PASO

Aquí se aplica a la lámina de acero, una emulsión de 5 a 10% de aceite en agua en los primeros molinos y el último una solución detergente. El agua de desecho que contiene una cantidad importante de aceite, se pasa por un tratamiento que incluye, flotación, desnatado de aceite, adición de acondicionadores, aereación, floculación, sedimentación y clarificación. En ocasiones se emplean aditivos rompedores de emulsiones. El agua y el aceite se neutralizan y los lodos se depositan en rellenos.

5.4.7 SINTERIZADO

Por lo general se lavan los gases que expelen el horno de sinterizado para quitarles los sólidos arrastrados y, el agua de lavado, requiere de un tratamiento por coagulación para quitarle los sólidos suspendidos y necesita de la adición de aditivos para controlar

incrustaciones, corrosión y ensuciamiento.

5.5. ACONDICIONAMIENTO DE AGUA EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL

La industria de la pulpa y del papel es la quinta industria más grande en cuanto al valor de los activos, pero ocupa solamente el décimo lugar en lo que se refiere a la venta de productos, lo que indica que es necesaria una inversión muy elevada para la producción de pulpa y el papel.

El crecimiento de la fabricación de productos de papel es relativamente estable, alcanzando por término medio un 5 por 100 al año. La contaminación debida a la industria de la pulpa y del papel, a pesar de la expansión de la producción es decreciente. Esta mejora se ha conseguido por un rápido incremento en el ritmo de instalación de equipo para el tratamiento de los residuos industriales en las viejas fábricas de papel, desechando los procesos de obtención de la pulpa que originan gran cantidad de contaminación y llevando a cabo una recirculación del agua y recuperación de fibras máxima, todo ello seguido de un tratamiento adecuado del efluente como parte fundamental del diseño de toda fábrica nueva.

El problema de reducir la contaminación que se produce en las fábricas viejas de pulpa y papel es uno de los más arduos con que se tiene que enfrentar la industria. Dichas fábricas se construyeron durante un período en el que la contaminación no se consideraba un problema y fueron creciendo al mismo ritmo que lo hizo la demanda de sus productos. Los complejos resultantes, que ocupan gran extensión y que tienen puntos múltiples de descarga de su efluente, ofrecen un gran contraste al compararlos con las unidades compactas, eficiente y cuidadosamente diseñadas que construye la industria en la actualidad. Hoy se seleccionan con gran atención los emplazamientos para las nuevas fábricas con el fin de que la contaminación y sus efectos sean mínimos. Si bien cada fábrica antigua puede ser mejorada mediante la instalación de equipo convencional para eliminación de la contaminación, el grado de mejora alcanzable depende de cada fábrica en concreto, de su emplazamiento y de su edad tecnológica. Cada una de una de estas -

fábricas necesita, por tanto, una solución de la contaminación especialmente concebida para su situación particular.

Todavía se derivan más complicaciones de la casi total dependencia de los procesos de elaboración de pulpa y de papel del uso de grandes cantidades de agua. El agua se utiliza como medio de transporte de la madera hasta la fábrica, juega un papel fundamental en los procesos de cocción y de molienda y luego se la utiliza para arrastrar las fibras que se han separado en las operaciones de blanqueo, suavización y laminación durante los procesos de producción. Los contaminantes aparecen así en forma muy disuelta y la relación entre agua contaminante varía entre 100: 1 y 1,000:1.

La separación de estas sustancias disueltas o muy dispersas es un problema que, desde el punto de vista económico, se resiste a las soluciones sencillas.

5.5.1 RESIDUOS GENERADOS EN LAS FABRICAS DE PAPEL

Se pone gran cuidado en diferenciar los residuos peligrosos para la salud humana (conocidos como contaminantes) de lo que únicamente hacen que las aguas receptoras resulten menos agradables o adecuadas para el uso que se suele hacer de ellas, ya sea para beber, para pescar o para nadar; estas últimas se dice que solamente están relativamente contaminadas. Los residuos que se originan en los procesos de elaboración de la pulpa y del papel caen en la categoría de los relativamente contaminados, ya que no resultan tóxicos para los seres humanos y no contienen organismos patógenos.

Volumen de líquido residual producido en la
elaboración de la pulpa y del papel:

P R O C E S O	Oscilación en galones/tonelada	Media representa tiva en galones/tonelada
Elaboración de la pulpa:		
Kraft sin blanquear	15,000-40,000	20,000
Blanqueado del Kraft	15,000-35,000	20,000
Sulfito sin blanquear	15,000-50,000	25,000
Blanqueo del sulfito	30,000-50,000	40,000
Sustancias químicas	8,000-40,000	10,000
Destintado	20,000-35,000	25,000
Pasta de madera	3,000-48,000	4,000
Pulpa líquida	60,000-80,000	65,000
Elaboración del papel:		
Papel fino	8,000-40,000	10,000
Para libros y publicaciones	10,000-35,000	12,000
Papel tela	7,000-45,000	15,000
Papel Kraft	2,000-10,000	5,000
Papel cubierta	2,000-15,000	8,000

5.5.1.1 SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sólidos que se encuentran en los residuos de las fábricas de pulpa y de papel consisten en: 1) pequeñas partículas de suciedad procedentes de las leñeras; 2) fibras y partículas de fibras procedentes tanto de las operaciones de elaboración de pulpa como de la fabricación de papel, y 3) sustancias de revestimiento y de relleno, tales como talco, arcilla, carbonato cálcico y bióxido de titanio desprendidos del proceso de fabricación de papel. Los sólidos sedimentables son la parte que plantea más problemas y representa del 75 al 90 por 100 de la cantidad total. Se depositan en el lecho de la corriente receptora, dando lugar a la aparición de depósi

tos y bancos de cieno.

La cantidad total de sólidos de suspensión se determina gravimetricamente, filtrando una cantidad determinada de agua por medio de un lecho de asbesto en un crisol. Como la preparación utilizando este método, lleva bastante tiempo, generalmente se utilizan papeles de fibra de vidrio en filtros que dan resultados comparables a los obtenidos mediante el crisol. La utilización de papeles de filtración rápida puede conducir a resultados y conclusiones erróneas. Tal tipo de filtración únicamente se debe utilizar para el control del funcionamiento en aquellos casos en que la velocidad sea esencial. La determinación de la cantidad de sólidos sedimentables, como medio rápido para comprobar la eficiencia del equipo para la separación de los sólidos, se lleva a cabo volumétricamente. El contenido de sólidos sedimentables determinado por medio del método gravimétrico se considera por algunos como mucho más significativo que la cantidad de sólidos en suspensión, ya que indica el comportamiento de los residuos en la corriente de agua receptora.

5.5.1.2 SUSTANCIAS ORGANICAS SOLUBLES

El segundo tipo de contaminación en relación con la industria de la pulpa y del papel es la que se debe a las sustancias orgánicas solubles. La fibra de celulosa es la única sustancia deseable contenida en la pulpa de la madera y aproximadamente, la mitad de los leños es de naturaleza no fibrosa. Por ello, dependiendo del proceso de obtención de la pulpa utilizado, puede que haya que desechos hasta el 50 por 100 de la sustancia orgánica. Partes muy importantes de lo desechado consisten en azúcares de madera, hidratos de carbono y compuestos semejantes.

Estas sustancias sirven de alimento a los microorganismos contenidos en el agua. Si se controla de forma relativamente uniforme la cantidad de desechos, pueden resultar beneficiosos. Sin embargo, las cantidades excesivas de los mismos tienen como consecuencia un crecimiento anormalmente rápido de los microorganismos acuáticos. El oxígeno se consume en este proceso de crecimiento y la atracción de oxígeno de las capas circundantes puede convertir-

las en poco adecuadas para los peces y algunas de las otras formas de vida acuática. La desaparición total del oxígeno disuelto en un río también activa el crecimiento de las bacterias anaeróbicas, que se encuentran siempre presentes. La presencia de sustancias orgánicas en concentraciones elevadas puede reforzar la aparición de cienos biológicos en el río, principalmente a base de *Spliaerolitus natans*. Sin embargo, la falta de equilibrio biológico que resulta del crecimiento del cieno parece ser la consecuencia de una serie de factores, de los que la disponibilidad de alimentos es solamente uno.

La NBO se acepta generalmente como la evaluación del efecto de los residuos orgánicos de la industria de la pulpa y del papel. Es muy importante dedicar gran atención a todos los detalles de los procedimientos de pruebas de la NBO y a la selección de las modificaciones adecuadas, ya que incluso en las condiciones más favorables la precisión que se consigue es bastante pobre. Probablemente ninguna otra prueba que se use con tanta frecuencia y sus resultados sean tan decisivos para tomar decisiones importantes carezca de tanta precisión como ocurre con la determinación de la NBO.

La NQO (necesidad química de oxígeno) proporciona información sobre la necesidad total de oxígeno, incluida la parte que no se encuentra sujeta a degradación bioquímica. Esta prueba es más rápida y más sencilla y, a menudo, se utiliza para llevar a cabo el control industrial cuando se ha determinado previamente la correlación entre la NBO y la NQO.

5.5.1.3 SUSTANCIAS TOXICAS PARA LA VIDA ACUATICA

La contaminación que resulta tóxica para la vida acuática solamente se produce con rara frecuencia como consecuencia de las operaciones de las fábricas de pulpa y papel. Una excepción importante la constituye el jabón crudo que aparece como subproducto en la fabricación de la pulpa de kraft y que tiene que ser recogido. Cuando los ensayos biológicos muestran que algunos aditivos son tóxicos, la fábrica tiene que tomar medidas especiales para evitar que escapen en concentraciones que resulten nocivas.

5.5.1.4 SUSTANCIAS INORGANICAS SOLUBLES

Se han venido investigando y perfeccionando diversas variaciones en la tecnología de las membranas, incluida la electrodiálisis y la ósmosis inversa, como métodos avanzados para el tratamiento de los residuos industriales. Estos métodos son capaces de separar y concentrar las sustancias orgánicas o inorgánicas disueltas y permitir que el agua resultante esté limpia y se pueda usar de nuevo en la fábrica. La viabilidad de estas nuevas unidades - que se encuentran en la actualidad en un estado muy avanzado de desarrollo técnico, puede depender de que se resuelvan los problemas sobre la utilización o eliminación de los concentrados de los procesos adheridos a las membranas. La respuesta general al problema de las sustancias inorgánicas disueltas consiste en la disolución del efluente que se utilice en la fábrica.

El problema, cada vez más grave, del crecimiento de algas en nuestros ríos y lagos parece que se encuentra asociado a la presencia cada vez mayor de ciertos agentes nutritivos en disolución, entre los cuales principalmente cabe citar el fósforo. Por esta razón se está insistiendo en la necesidad de reducir los fosfatos procedentes de cualquier fuente.

Resultados semejantes se pueden obtener de un tratamiento primario en conjunción con o seguido de un tratamiento secundario regular.

Cantidades de líquidos residuales no tratados producidos en la elaboración de la pulpa y del papel.

Líquido residual	(Libra/Ton. de producto)	
	Líquidos en suspensión oscilación de los valores proyectados	cinco días de NBO, oscilación de los valores proyectados
Pulpas:		
Sulfito sin blanquear	20-40	400-700
Sulfito blanqueado	25-60	450-800
Kraft y pulpa líquida sin blanquear	20-30	25-50
Kraft y pulpa líquida blanqueados	25-55	45-80
Pulpa de madera sin blanquear	30-80	15-25
Pulpa de madera blanqueada	45-80	25-60

Sulfito neutro semiquímico	80-100	250-500
Fibras textiles	300-500	200-300
Pajas	400-500	400-500
Destintado	400-800	600-160
Papeles finos:		
Papel blanco extra para multicopista	50-100	15-40
Papel vidriado	10-15	15-25
Papel para libros publicaciones	50-100	20-50
Papeles tela	30-100	10-30
Papeles bastos:		
Cartón para hacer cajas	50-70	20-40
Papel Kraft para envolver	50-70	25-60
Papel para periodicos	15-25	5-15
Cartón aislante	50-100	150-250
Papeles especiales:		
De amianto	300-400	20-40
Fielto para el tejado	50-100	40-60
Papel para cigarrillos	100-800	20-30

5.5.2 TIPOS DE PULPA Y DE SUSTANCIAS CEDIDAS AL AGUA

5.5.2.1 PULPA DE KRAFT BLANQUEADA Y SIN BLANQUEAR

La recuperación forma parte del proceso de obtención del kraft, y por ello la NBO/tonelada de pulpa producida que se descarga a los ríos es la más baja de todas las pulpas.

La contaminación que hay que considerar en estos casos es la producida por los sólidos, las sustancias biodegradables, el color la espuma y las sustancias potencialmente tóxicas para la vida acuática.

5.5.2.2 PULPA DE SULFITO

El primer proceso de elaboración de pulpa es el del sulfito, fundamentalmente debido a la disponibilidad de abetos y bálsamos, que se pueden cocer rápidamente utilizando este proceso. También la elaboración de pulpa a base de sulfito utiliza sustancias de bajo costo, tales como cal y azufre para la preparación de la co-

cción. Esto se puede tirar después de su uso, lo que hace innecesario acudir a costosos sistemas de recuperación. El hecho de que -- aproximadamente se desaproveche de esta forma la mitad del leño de madera en el efluente de la fábrica en lugar de quemarlo durante un proceso de recuperación explica la elevada NBO/tonelada de pulpa producida a base de sulfito. Aunque la pulpa de sulfito no blanqueada se utiliza como un ingrediente para la obtención de papel de imprenta, la mayor parte de ella, como ocurre en la de kraft se blanquea en diversos grados.

La contaminación en la elaboración de la pulpa a base de sulfito se debe a la existencia de una NBO elevada a los sólidos en suspensión y al color.

5.5.2.3 PULPAS SEMIQUÍMICAS

En los referente a la contaminación, las pulpas semiquímicas se encuentran a medio camino entre la pulpa de kraft y la obtenida a base de sulfito. Debido a que su grado de tratamiento químico es muy inferior, su NBO/ tonelada de producto es mucho menor que el de la pulpa a base de sulfito. Sin embargo, la mayoría de las fábricas de pulpa semiquímica no proceden a la recuperación de forma que la NBO liberada a los ríos es muy superior a la de la elaboración de la pulpa de kraft. Algunas fábricas, muy pocas, llevan a cabo procesos de recuperación para mejorar la calidad del agua del río, ya que el valor de las sustancias recuperadas son insuficientes para justificar el costo de la operación de recuperación. Algunos descubrimientos técnicos recientes han demostrado que es posible realizar una recuperación aceptable mediante la aplicación de la incineración a base de lechos fluidificados. La NBO se ha reducido mediante este proceso hasta alcanzar los niveles obtenidos en la elaboración de la pulpa de kraft. Sin embargo, las sustancias recuperadas no se pueden utilizar directamente de nuevo en la elaboración de pulpas.

Los elementos que intervienen en la contaminación son la NBO, los sólidos en suspensión y, en menor grado, el color del efluente.

5.5.2.4 PASTA DE PAPEL

La reducción normal que se produce, de un 20 a un 40 por 100 global en las operaciones de destintado, se traduce en una descarga, muy pesada de sólidos en suspensión. La NBO de los residuos del proceso de elaboración de esta pulpa oscila entre 60 y 100 libras/toneladas de pulpa producida. La instalación de los procesos más modernos de flotación hace que la NBO se sitúe en los niveles más bajos. La contaminación se debe a la NBO y a los sólidos en suspensión.

5.5.2.5 PASTA MECANICA

Los problemas de contaminación que plantean los residuos de pasta mecánica consisten, sobre todo, en la separación de los sólidos en suspensión. La NBO resultante es baja y los problemas se pueden corregir fácilmente. El blanqueo de esta pulpa puede duplicar la NBO/tonelada lo que dependerá del proceso de blanqueo utilizado y del grado de blancura que se necesite. Cuando se utiliza hidrosulfito de zinc como agente blanqueador hay que controlar con sumo cuidado las concentraciones de zinc que van a parar a las aguas receptoras.

5.5.3 TIPOS DE PAPEL Y COMPOSICION DE LOS COMPUESTOS RESIDUALES DE SU PRODUCCION

Los papeles, desde el punto de vista de la contaminación, se clasifican en cinco grandes grupos: finos, para libros, de tela, bastos y especiales.

5.5.3.1 RESIDUOS DE PRODUCCION DE PAPELES FINOS

Son ejemplos de papeles finos los fabricados solamente de paja, como son los de escribir, los que se usan en los documentos legales y en los negocios, así como los de mimeografía y los papeles blancos en general. La eliminación de la contaminación, que tiene que llevar a cabo las fábricas que producen estos papeles, consiste fundamentalmente en separar los sólidos en sus - - -

pensión que contienen el efluente.

5.5.3.2 RESIDUOS DE PRODUCCION DE PAPELES PARA LIBROS Y PUBLICACIONES.

El papel de esta calidad se usa, sobre todo, para revistas -- folletos, catálogos, etc. Para obtener diversos grados de brillantez, las cuartillas se revisten generalmente con arcilla o con carbonato de calcio, al que se ha añadido bióxido de titanio para aumentar su blancura. Este material de revestimiento se adhiere a la cuartilla por medio de almidón, proteína, alcohol polivinílico o alguna sustancia adhesiva parecida. El mayor problema de contaminación consiste en los sólidos en suspensión, que además de partículas de fibra, pueden contener hasta el 50 por 100 del mineral -- desprendido en los procesos de revestimiento y en las operaciones de adición de material para dar consistencia. El aditivo que mantiene unido este revestimiento a la cuartilla es la principal causa de que la NBO que resulta de la producción de una tonelada de papel para libros sea casi el doble que la que resulta de la producción de una tonelada para papel de periódicos.

5.5.3.3 RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE PAPELES TIPO TELA

Los papeles de tela, además de los empleados como toallas servilletas y para uso higiénico, comprenden los papeles para envolver y los de decoración. Normalmente basta con la separación de los sólidos sedimentables para cumplir la condición de la mejora de la calidad de las aguas de los ríos, ya que la NBO de las aguas residuales que se producen en la fabricación de papel tela es muy baja. Los agentes utilizados para facilitar la floculación para la clarificación de los residuos de las fábricas productoras de papel tela son más efectivos para reducir la NBO, simultáneamente -- con los sólidos sedimentables contenidos, cuando se utiliza al mismo tiempo para residuos procedentes de la fabricación de otros tipos de papel. Esto es así porque la producción de papel tela da origen a muy poca materia soluble en las aguas.

5.5.3.4 RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE PAPELES BASICOS

Entre estos tipos de papeles se pueden citar los cartones, -- los gruesos para envolver, y de periódicos. Los sólidos en suspensión son la principal causa de contaminación por parte de las fábricas de papeles bastos. El agua se puede volver a utilizar, y así el sistema puede estar cerrado en mayor grado para la fabricación de estos papeles que para la de otros tipos.

5.5.4 PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL PAPEL.

5.5.4.1 REDUCCION DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION

Lo primero en orden de importancia en la eliminación de la -- contaminación es la reducción de los sólidos en suspensión, no solamente porque la contaminación de esta naturaleza es común a todas las secciones de la industria de la pulpa y del papel, sino también porque la separación de los sólidos en suspensión es un requisito previo a casi cualquier tratamiento subsiguiente. Se ha intentado eliminar la fase de clarificación para partes del efluente de las fábricas de esta industria que contenían sólidos en suspensión en concentraciones bajas. Sin embargo, tal intento casi invariable ha tenido como resultado el aumento de los gastos de funcionamiento, ya que los sólidos en suspensión a los que no se ha aplicado el tratamiento, acaban convirtiéndose en un peso inerte que circula con el resto del agua. Esto a su vez, hace más difícil el mantenimiento de la relación deseada el líquido nuevo (NBO) y los sólidos contenidos en la mezcla líquida activa en cualquiera de los procesos de bioxidación que vengán a continuación. Las corrientes de efluentes que contienen estos sólidos sedimentables pueden depositarse finalmente en los lechos de los ríos a medida que se van descomponiendo. Por consiguiente, se recomienda la separación de los sólidos sedimentables contenidos en la totalidad del afluente de las fábricas como primera fase del tratamiento.

a) La recolección y reutilización del agua y de los sólidos -- que se producen en la fábrica es el primer paso para reducir la contaminación. Frecuentemente se recurre a la flotación para concen--

trar los sólidos en suspensión. Una gran parte de las fibras minerales, mediante recirculación o flotación, puede ser utilizada de nuevo en el proceso y de esta forma eliminar parte del costo de reducción de la contaminación. Todas las fábricas practican en cierta medida la recirculación. Sin embargo, a medida que el proceso se va cerrando y aumentando la recirculación, se agravan ciertos problemas ya existentes y aparecen otros nuevos. Por ejemplo, los sólidos recuperados no poseen ya sus características originarias y se hacen gelatinosos o se deterioran de cualquier otra manera, resultando menos útiles. También aumenta su capacidad para retener el agua y a menudo en cantidad varias veces superior a lo que lo hacía la fibra original. La recirculación del agua y de las partículas finas puede plantear dificultades como, por ejemplo, aumento de la espuma, agravación de los problemas -- que plantea el cieno y concentración de suciedad en el producto acabado.

b) La sedimentación es el método principal utilizado para reducir los sólidos en suspensión contenidos en los efluentes de las fábricas. Las sustancias separadas no son reutilizables en la mayoría de los casos.

c) ESTANQUES Y LAGUNAS DE SEDIMENTACION. Para la separación de las fibras cuando se dispone de tierra y los costos iniciales de capital tienen gran importancia. Tales instalaciones son muy efectivas para reducir los sólidos sedimentables, pero el ahorro inicial de su construcción puede verse anulado por el coste de mantenimiento y los desagradables problemas de limpieza que plantea. La limpieza se facilita construyendo los estanques poco profundos y únicamente de una anchura suficiente para tener seguridad de -- que la velocidad del flujo se encuentra por debajo de la de sedimentación de forma que las fibras se puedan depositar. Incluso los estanques muy pequeños deben tener una longitud al menos cuatro veces superior a la anchura, y su profundidad no debe superar los cinco pies. Esta construcción minimiza los problemas de canalización. Lo normal en la práctica es construir dos lagunas paralelas de las que la primera se emplea regularmente, y la segunda, solo durante los momentos de limpieza de la otra. Los estanques profundos son muy difíciles de desaguar, cuando no imposible. Es

preferible limpiar frecuentemente los estanques poco profundos en lugar de permitir que se llene de sólidos hasta que su eficiencia de sedimentación desaparezca. La dificultad en la limpieza parece que aumenta de forma notable a medida que la profundidad del cieno después de su decantación sobrepasa los tres pies.

d) CLARIFICADORES CIRCULARES LIMPIADOS MECANICAMENTE. Generalmente movidos desde el centro, se han convertido en la instalación más ampliamente aceptada para la separación de los sólidos en suspensión. La eficiencia de estas unidades para separar los sólidos totales en suspensión procedentes de una fábrica de pulpa y papel normalmente oscila entre el 70 y el 90 por 100, mientras que los sólidos sedimentables se reducen en más de un 95 por 100.

Los clarificadores primarios que consiguen una separación de sólidos sedimentables igual o superior al 95 por 100 y se encuentran actualmente en funcionamiento han sido diseñados para un flujo de 600 a 700 galones/(pie)² (día). Se ha descubierto que en la práctica resulta ventajoso diseñar clarificadores para las fábricas de pulpa y papel de un tamaño superior en un 20 por 100 al indicador por las pruebas de sedimentación de los laboratorios, si se pretende que el concentrado de las centrifugas y de los filtros que se utiliza para el espesamiento del cieno sea devuelto al clarificador. Los concentrados contienen una cantidad desproporcionadamente grande de partículas finas y, por tanto, suponen una dificultad adicional de sedimentación. La necesidad de superficie de sedimentación no es demasiado grande, oscilando entre los 200 y los 800 pies²/tonelada de sólidos, pero el mecanismo de recogida debe ser de gran rendimiento. El tiempo medio de retención será de cuatro horas. Cuando se pretende aumentar la gravedad de los clarificadores, se tienen que tomar medidas para evitar el arrastre del aire, que puede reducir la eficiencia de la unidad de forma considerable, sobre todo si hay fibras largas. Las bombas de cieno utilizadas para la separación del mismo, que tiene normalmente una consistencia del 2 al 6 por 100, son del tipo de desplazamiento posi-

tivo, aunque se han utilizado con éxito bombas centrífugas para cienos de consistencia inferior al 5 por 100. Es importante que se coloque la bomba lo más cerca posible del pozo de cieno, y lo más ventajoso es que se encuentre adyacente a él debajo del propio clarificador.

Las líneas de succión del cieno deben tener un diámetro mínimo de seis pies cuando se trata de clarificadores de 100 pies o menos de diámetro, y de 10 a 12 pulgadas cuando se trata de unidades por encima de los 200 pies de diámetro.

e) ESPESAMIENTO O DESHIDRATACION DE LOS CIENOS PRIMARIOS PARA SU ELIMINACION FINAL. Se consigue utilizando filtros de tambor, de disco o de correa o centrifugando. El espesamiento en algunas instalaciones viene seguido de compresión. Se consigue un espesamiento más eficiente cuando la consistencia del filtro o de la centrífuga está prácticamente al máximo. Es una práctica general de la industria utilizar clarificador como un espesor dentro de los límites mecánicos impuestos por el torsor, dando origen a cienos cuya consistencia generalmente se encuentra comprendida entre el 3 y el 6 por 100.

f) FILTRACION DEL CIENO DEL CLARIFICADOR. Es el método más ampliamente utilizado para la espesación, mediante el cual se obtiene una torta cuyo contenido sólido oscila entre el 20 y 35 por 100. La mayoría de los filtros han sido diseñados para adaptarse a un proceso determinado, pero incluso en dichos casos la cantidad de contaminación varía ampliamente, produciéndose dicha oscilación entre dos y diez libras por pie cuadrado y hora. Los cienos primarios que se producen en los procesos de elaboración de la pulpa y del papel pueden variar entre un 10 y un 70 por 100 en el contenido de las cenizas. La diversidad de filtros y tejidos para los mismos de que se dispone, así como la utilización de agentes de revestimiento y de acondicionamiento, han permitido una variadísima aplicación de los filtros para el espesamiento. El teji

do de los filtros generalmente se selecciona de forma que se limite la consistencia de lo filtrado. Esto es algo a lo que hay que prestar gran atención, ya que luego hay que eliminar lo filtrado y sus lodos coloidales fuertemente adheridos que contienen una cantidad muy elevada de sustancias finas. La principal objeción para la utilización de los filtros es la necesidad de protegerles contra las inclemencias del tiempo y la gran atención que hay que prestar a su funcionamiento.

g) LAS CENTRIFUGAS han dado resultados satisfactorios en un cierto número de aplicaciones, y la torta seca que se ha producido oscila entre un 15 y un 45 por 100 de contenido sólido. Estos ocupan menos espacio que los filtros, necesitan menos protección contra las inclemencias del tiempo y menos cuidados por parte del operario, pero son menos flexibles a los cambios de la naturaleza del cieno, pueden sufrir daños por abrasión producidos por los efluentes que contienen arenillas y el concentrado resultante tiene una gran concentración de cienos muy finos. Las centrífugas cuya instalación ha resultado de más éxito hasta la fecha son las que se aplican al tratamiento de los efluentes procedentes de procesos para la obtención de fibras largas. En algún caso se han utilizado éstas para el tratamiento del cieno procedentes de los procesos de elaboración de kraft-pasta y papel de periódico.

h) LA ELIMINACION DEL CIENO ESPESADO, es un grave problema para el que hasta el momento únicamente se han encontrado dos soluciones:

1. La eliminación depositándolo en el terreno es posible y se acude a ella siempre que exista terreno disponible. Sin embargo, puede que resulte necesario utilizar una gran cantidad de terreno, ya que las cantidades de cieno pueden ser verdaderamente enormes. Una planta que produzca 25 toneladas por día de cieno seco, cuyo grado de humedad y densidad oscile dentro de los que son usuales, tratándose de residuos de fábricas de pulpa y de papel tendrá que eliminar aproximadamente 5,000 pies cúbicos cada día.

El cieno espesado se puede utilizar para nivelar las depresiones recubrirle con una capa de tierra de dos o tres pies de grosor. También se puede emplear para levantar el nivel de la tierra.

2. La incineración es la otra posibilidad a la que cabe recurrir.

Para que pueda ser incinerado hay que deshidratar el cieno hasta un grado que dependerá de su contenido volátil y de si se le va a quemar solo o junto con otras sustancias, como alquitrán o polvo de serrín. Para que se mantenga con otras sustancias la combustión sin necesidad de añadir otro combustible, el cieno ordinario producido en la elaboración de la pulpa y del papel debe tener un contenido sólido superior al 45 por 100. Para deshidratar mecánicamente el cieno ordinario producido en la elaboración de la pulpa y del papel debe tener un contenido sólido superior al 45 por 100. Para deshidratar mecánicamente el cieno de forma que su consistencia inicial de espesamiento alcance la adecuada al tipo de incineración que se va a utilizar en la actualidad prensas en forma de V o de tornillo. Muchas veces no se obtiene producto cuyo contenido sólido sobrepase el 45 por 100, de manera que es preciso añadir combustible complementario o llevar a cabo la incineración en calderas que funcionan a base de electricidad o de otro tipo de combustible.

Es importante conocer la dirección probable de las corrientes subterráneas de agua y la situación de los pozos existentes en una zona geológica. Las bacterias contenidas en el suelo pueden crecer al actuar sobre las sustancias orgánicas disueltas y obturar los intersicios de las capas geológicas en unos cuantos años incluso las formaciones de grava, al mismo tiempo que las sustancias disueltas pueden afectar adversamente al sabor de las aguas de los pozos existentes en los alrededores. Si esto parece como algo muy probable al fondo de los estanques deben ser compactados o impermeabilizados y sus diques deben estar hechos de forma que se evite cualquier tipo de filtración. Es muy importante que los residuos que desembocan en los estanques de estabilización hayan recibido algún tipo de tratamiento para separar los sólidos sedimentables. Si estos no han sido separados se depositarán en el fondo y se descompondrán, aumentando así la superficie de la zona anaeróbica y la NBO. Si se permite su acumulación acabarán por destruir la función que desempeña el estanque. Hay que instalar canalillos y compartimientos subterráneos en los estanques grandes para tener seguridad

de que el paso a través de todo el sistema es uniforme. Los estanques de estabilización tienen las grandes ventajas de absorber una gran variación de NBO y de que su funcionamiento es muy barato.

Los estanques aireados mecánicamente se han venido considerando cada vez más como la solución para el problema de la NBO que presentan las fábricas de pulpa y papel. Tienen las ventajas de que su funcionamiento es muy estable, de que su capacidad para la NBO por ha. es de seis a diez veces superior a la de los estanques aireados de forma natural y de que no se encuentran con los problemas que presentan los cienos secundarios producidos en los procesos a base de cieno activado. La velocidad de oxidación indica un coeficiente k de 0.1 a 20° C. y de 0.16 a 30° C. Los diseños corrientes están concebidos para un período de retención que oscila entre seis y diez días e incluso prevén la posibilidad de añadir oxígeno suplementario con nitrógeno y fósforo.

El peso de las libras de NBO eliminadas por caballo de vapor/día es el único criterio real aplicable a cualquier aireador que lleve a cabo una tarea determinada. Para diseñar una instalación, normalmente se utiliza como criterio la cifra de 50 libras de NBO eliminadas por caballo de vapor/día.

EL TRATAMIENTO A BASE DE CIENO ACTIVADO: o una de sus modificaciones, se ha venido utilizando para el tratamiento biológico de los residuos de las fábricas de papel cuando no se dispone de espacio suficiente. Un estanque de cieno activado puede llevar a cabo en un período de cuatro horas el mismo porcentaje de reducción del 85 por 100 que consigue un estanque de aireación natural en veinticinco días o uno aireado mecánicamente en seis días. Con una clarificación del 90 por 100 o incluso mayor, las instalaciones a base de cieno activado normalmente separan 50 libras de NBO por cada 1000 pies cúbicos de capacidad del estanque de aireación, y la cantidad es aún mayor cuando se trata de instalaciones especiales. A medida que la eficiencia inicial de clarificación disminuye, también lo hace la eficiencia con que se elimina la NBO en el tratamiento biológico.

Contaminación debida a la industria del papel,
fuentes, tipos y métodos para su eliminación.

FUENTE	NATURALEZA DEL CONTAMINANTE	METODO DE ELIMINACION
Leñeras, desembarcos y tamices	Cortezas, cortezas finas que pasan a través de los tamices, suciedad desprendida de los troncos.	Las cortezas se comprimen y se queman en calderas, las cenizas y las impurezas se recogen para su disposición como residuos junto con las fibras finas separadas en los clarificadores primarios.
Fabricación mecánica de pulpa	Fibras finas, arenilla desprendida de las piedras, NBO (instalaciones de gran tamaño)	Las fibras finas se separan en los clarificadores primarios, las impurezas se dedican en cámaras de sedimentación, la NBO se reduce mediante tratamiento biológico.
Fabricación química de pulpa (o cocción) y lavado	Fibras finas, sustancias orgánicas solubles (NBO), jabones crudos, cuerpos coloreantes, sustancias inorgánicas solubles.	Las fibras finas se separan en los clarificadores primarios, el líquido residual es tratado biológicamente para reducir la NBO por medio de lagunas de ventilación o por alguna modificación del proceso de cieno activado, los jabones crudos se recogen durante la evaporación del líquido y se les embarca como aceite de resina o se les quema, las concentraciones de los cuerpos colorantes y de sustancias inorgánicas solubles se reducen por disolución en las aguas receptoras.
Tamizado	Nudos, impurezas, fibras gruesas, sustancias orgánicas solubles.	Se refinan, se limpian y se devuelven al sistema; el agua se pone de nuevo en circulación; la suciedad, las impurezas y las fibras finas se separan en el clarificador primario, la NBO se reduce mediante tratamiento biológico.

FUENTE	NATURALEZA DEL CONTAMINANTE	METODO DE ELIMINACION
Blanqueo	Fibras finas, sustancias orgánicas solubles (NBO), cuerpos colorantes, sustancias inorgánicas solubles.	Las fibras finas se separan en los clarificadores primarios o en la laguna de sedimentación, la NBO del líquido clarificado se reduce mediante tratamiento biológico (lagunas proceso de cieno activado o modificación), los cuerpos colorantes y las sustancias inorgánicas solubles se reducen en su concentración mediante tratamiento biológico.
Fabricación de papel	Fibras finas, arcillas y otros minerales	Las arcillas y las fibras finas se separan en el clarificador primario; esto puede exigir un tratamiento químico especial a base de aluminio, cieno o compuestos férricos.
Revestimiento (con o sin máquina)	Minerales para revestimiento; las sustancias que se emplean para en cuadernar, como el almidón, tienen una NBO	La clarificación primaria empleada para la separación de los minerales de revestimiento en suspensión puede exigir un tratamiento especial; la NBO del líquido clarificador se reduce mediante tratamiento biológico.

5.5.4.2 ELIMINACION DE SUSTANCIAS ORGANICAS SOLUBLES

NBO. Las sustancias orgánicas solubles expresadas como NBO -- constituyen la segunda fuente de contaminación más importante en esta industria. Los compuestos leñosos contenidos en los residuos que se derivan de los procesos de elaboración de la pulpa se descomponen muy lentamente por lo que la influencia que ejercen es gradual y, generalmente, es absorbida por las características normales de reacción de la corriente. Otros compuestos orgánicos derivados de tales procesos, como los hidratos de carbono, tienen una elevada

y rápida NBO. Ese tipo de NBO puede suponer una carga importante para el río o incluso sobrepasarse la capacidad de la corriente para absorberla. La prueba de cinco días NBO se considera como el medio más adecuado para la evaluación de esta propiedad, y la reducción de ella de los efluentes producidos por las fábricas de pulpa y de papel es uno de los objetivos primarios de la lucha contra la contaminación.

a) LA CLARIFICACION, que sirve para separar los sólidos en suspensión, también puede reducir la NBO de los residuos de las fábricas de pulpa y de papel. La absorción juega un papel muy importante, pero parece ser que la reducción se debe también al depósito de las partículas orgánicas finamente divididas junto con las grandes en el proceso de sedimentación. Parte de estas partículas finas son solubles y así sirven de apoyo a la acción bacteriana. La eficacia de la clarificación para la eliminación de la NBO varía grandemente, desde prácticamente cero para los residuos de la pulpa obtenida a base de sulfito hasta el 10 por 100 para la kraft, del 15 al 20 por 100 para la de papeles de periódico, del 20 al 25 por 100 para los papeles para libros y del 35 al 65 por 100 cuando se trata de pulpas para papeles de tela.

b) LOS ESTANQUES DE SEDIMENTACION, y las lagunas artificiales aireadas de forma natural, se han utilizado con gran profusión para obtener una NBO satisfactoria. La eficacia de los estanques en la remoción de la NBO depende de la temperatura ambiente y de la superficie de exposición.

Los estanques de estabilización generalmente son poco profundos, preferiblemente de cinco pies o menos, como media, y su superficie de exposición es el factor más importante. El tiempo de permanencia para conseguir un elevado porcentaje de separación (del 85 al 90 por 100) suele ser de veinticinco días o más. Cuando no se dispone de superficies suficientes, se recurre a un aumento de un 50 por 100 del tiempo de retención.

El fondo de casi todos los estanques aireados de forma natural es anaeróbico, y esta situación se intensifica a medida que aumenta la profundidad de las lagunas y la cantidad de contaminantes. En algunos casos la zona anaeróbica debe ser mínima; en otros, la combinación de la acción anaeróbica y aeróbica resulta benefi-

ciosa. La utilización de aparatos flotantes de aireación ha hecho posible corregir problemas.

Otra de sus características es la fácilidad con que se avería como consecuencia de la afluencia de grandes cantidades de contaminantes de forma repentina que se produce de vez en cuando en las fábricas de pulpa y de papel. El contenido de oxígeno también es crítico en los residuos enviados al segundo clarificador. Una cantidad demasiado pequeña de oxígeno puede hacer que el clarificador se -- convierta en anaeróbico. Una cantidad excesiva de oxígeno puede de terminar la aglomeración de cieno y su arrastre. El buen funcionamiento exige que la temperatura no sobrepase los 110° F. y que el pH normalmente se mantenga en torno al punto de neutralidad. El - tratamiento a base de cieno activado generalmente tolera fluctuaciones a corto plazo del pH entre seis y nueve, ya que el cieno de retorno tiene una capacidad de flexibilización, pero la eficiencia decae rápidamente si se mantienen estos niveles o si se sobrepasan. Si una fluctuación excesiva o algunos derrames accidentales de sustancias dentro de la fábrica, matan al cieno activado, no se puede hacer otra cosa sino descargar dicho cieno y esperar durante semanas a que crezca una nueva población bacteriana.

El amoníaco y el ácido fosfórico son elementos esenciales para este proceso. Al principio se suele añadir nitrógeno en proporción aproximada de una libra por cada 20 libras de NBO y fósforo, en una cantidad de una libra por cada 100. Una vez que ha comenzado a funcionar el proceso, continuará haciéndolo con éxito - con una pequeña reducción de la necesidad de nitrógeno y una reducción mucho mayor que la de fosfatos, ya que ambos se deben encontrar presentes en cierta medida en el afluente.

Además de la sensibilidad, el gran inconveniente del proceso de cieno activado consiste en el problema de la eliminación del - cieno secundario que se forma de 0.35 a 0.55 libras por libra de NBO eliminada, en comparación de las 0.2 libras o menos que se originan en los estanques de estabilización aireados mecánicamente. El cieno contiene tanto sustancias activas como inertes y tiene - forma floculada en lugar de finamente dividida, no pudiendo ser descargado directamente a un río. Es gelatinoso y los filtros - resultan de escasa eficacia. Se le puede filtrar cuando se mezcla

una parte de él con tres de cieno primario.

Sin embargo no todos los cienos primarios poseen las propiedades para conseguir la mezcla adecuada, lo que limita la aplicabilidad de este método. En las zonas en las que únicamente llueve dos o tres meses al año, el cieno secundario se pulveriza al nivel del suelo una vez por semana y su ventaja consiste en que es eliminado por el elevado grado de evaporación natural. La pulverización presenta muchos problemas durante los meses de lluvia. En otras circunstancias, el cieno secundario se ha bombeado a grandes lagunas artificiales de estancamiento, como una solución temporal, hasta que se encuentren métodos satisfactorios para su eliminación. El coste del proceso a base de cieno activado es elevado.

e) LOS FILTROS PERCOLADORES O DE GOTEÓ, cuando funcionan a -- gran velocidad, consiguen reducciones de la NBO que oscilan entre el 40 y el 60 por 100. Su principal ventaja consiste en la capacidad que tiene para tratar grandes cantidades de residuos que -- poseen concentraciones en las que la NBO varía considerablemente. La utilización de medios plásticos, como filtros, en su momento estimuló mucho la utilización de filtros percoladores en el tratamiento de los residuos de las fábricas de pulpa, ya que dichos medios eliminaban el problema de la obturación que aparecía cuando se usaban medios filtrantes a base de piedras. Lo mismo que con otros métodos, la mayor reducción de la NBO con los filtros percoladores se obtiene con residuos de los que se ha separado la mayor parte de los sólidos sedimentales, aunque esto no es una condición tan crítica como ocurría con el cieno activado. No se utilizan -- los filtros percoladores en la industria de la pulpa y del papel con tanta profusión como otros procesos de biooxidación. No proporcionan un tratamiento satisfactorio a los residuos de esta industria, que no necesitan un elevado grado de reducción, o cuando se desea reducir la NBO antes de llegar al proceso final de tratamiento. Los filtros percoladores ocasionalmente también se pueden utilizar como torres de refrigeración en aquellos casos en los que la temperatura de los residuos tiene que ser reducida antes de que se les aplique el subsiguiente tratamiento o se les pueda descargar. Tales aplicaciones no consiguen más que una escasa reducción de la NBO.

f) LA PULVERIZACION SOBRE LA TIERRA y la nivelación de los terrenos como método de eliminación es uno de los pocos conocidos en los que la reducción de la NBO se puede aproximar al 100 por ciento. Cuando se pulverizan residuos débiles sobre el suelo es importante que se corte con frecuencia la vegetación para que el suelo esté abierto y sea poroso y así se facilite la evaporación del agua. Los suelos cuyo pH oscila entre seis y nueve resultan adecuados. La eliminación mediante nebulizaciones exige por término medio de 40 a 50 acres/mgd, evitando que se produzcan inundaciones que puedan matar la vegetación. La mayoría de los suelos no pueden tratar más de 200 libras de NBO por acre y día.

La nebulización de residuos débiles resulta particularmente eficaz en aquellas zonas en las que el agua es muy escasa.

La eliminación por nivelación del terreno también resulta efectiva cuando se trata de residuos fuertes, si se toman ciertas precauciones. Los residuos de elevada gravedad específica pueden plantear serios problemas de filtración, ya que pueden llegar hasta las aguas subterráneas en forma no diluida y luego desplazarse lateralmente a lo largo de los estratos rocosos. Por esta razón, generalmente siempre se prefiere la eliminación por pulverización. El líquido residual del sulfito gastado puede ser pulverizado en forma efectiva a un ritmo diario no superior a una libra de sólidos por yarda de superficie. Las bacterias que hay en el suelo arenoso a una profundidad de 10 pies reducen en un 80 por 100 por término medio la NBO.

5.5.4.3 CONTROL DE LOS RESIDUOS VISIBLES

Los problemas de color que se derivan de la producción y blanqueo de la pulpa de Kraft todavía no han sido solucionados ni desde el punto de vista práctico ni técnico. El tratamiento masivo a base de cieno, es técnicamente eficaz, pero hasta ahora no se ha resuelto el problema económico de su aplicación práctica a las instalaciones existentes. La clarificación y el tratamiento bioquímico de los residuos de la industria de la pulpa y del papel tienen un efecto relativamente pequeño sobre el color del efluente, ya que raramente los reducen en más de un 20 a un 25 por 100. Las prácticas de lavado de los stoks de pulpa de papel, así como una capacidad adecuada de los evaporadores y de las calderas de recuperación

pueden disminuir las pérdidas del líquido negro y, de esta forma, reducir al mínimo la contaminación por color. Sin embargo, el grado de disolución en los ríos es lo que generalmente determina si la decoloración resulta nociva o no.

La espuma procedente de una fábrica de pulpa y de papel se puede controlar casi completamente en el punto de salida mediante un diseño adecuado de los desagües utilizados, canalillos de salida de la espuma, así como cortinas formadas por cadenas de troncos flotantes y de lona, suplementada si fuera necesario con pulverizadores. La regeneración de la espuma de un río puede constituir un grave problema. El coeficiente de regeneración de la espuma viene determinado por la naturaleza del afluente, por la turbulencia de la corriente y por la disolución permitida por el curso del agua.

Las estrías blancas que aparecen en algunos ríos corriente abajo de las fábricas de papel se pueden eliminar mediante disolución y dispersión utilizando tuberías de difusión que liberan el efluente en el río por muchos puntos. Las partículas productoras de este color son generalmente tan finas que se resisten a la separación por flotación, sedimentación y otros métodos convencionales. Estas partículas finas no forman bancos de cieno. La arcilla tiene en lo esencial la misma composición que la que se encuentra en el río, y los ensayos biológicos llevados a cabo indican que el bióxido de titanio no es nocivo para los peces, incluso cuando aparece en concentraciones varias veces superiores a las que normalmente se encuentran en la corriente del río más abajo de las fábricas de papel.

5.5.4.4. ELIMINACION DE CONTAMINANTES TOXICOS PARA LA VIDA ACUATICA.

Las muertes de peces, imputables a las industrias de pulpa y de papel, casi siempre se han debido a descargas temporales anormalmente altas en su NBO. Ha sido el casi agotamiento del oxígeno y la sofocación resultante de los peces lo que ha causado tales muertes. En el proceso de elaboración de kraft, los ácidos grasos y resinosos pueden plantear problemas si las pérdidas procedentes del sistema que contiene el jabón, el aceite y el líquido negro son --

excesivas; en los procesos de fabricación del papel se utiliza hidrosulfito de zinc para el blanqueo de la pasta mecánica. Se ha comprobado que la toxicidad del zinc disminuye a medida que lo hace la dureza del agua. La clarificación apenas afecta a la concentración de zinc y, por lo general, la biooxidación sólo la reduce en un 10 por 100.

5.6 AGUA EN LA INDUSTRIA PETROLERA

5.6.1. COMPUESTOS INORGANICOS EN AGUAS EMPLEADAS

Estudios acerca de la composición de las aguas producidas de los yacimientos de aceite ha mostrado que los cationes que predominan son: Sodio, Calcio y Magnesio.

Las concentraciones típicas son:

Sodio	23 000	a	57 000 mg/l
Calcio	2 500	a	25 800 mg/l
Magnesio	100	a	5 000 mg/l

Los iones metálicos presentes en aguas congénitas son comunes y están contenidos también en el agua de mar. Los metales considerados tóxicos están presentes en concentraciones muy bajas.

Rangos de Concentración típica de componentes Inorgánicos en aguas Congénitas Producidas.

<u>Componentes</u>	<u>Concentración Típica</u>
Na, Cl,	Miles de ppm
Ca, Mg, SO ₄ =	A veces 300 ppm
K, Sr.	50 ppm
Al, B, Ba, Fe, Li	1 a 50 ppm
Cr, Cu, Mn, Ni, Sn,	ppb (en la mayoría de las
Ti, Zr.	aguas producidas)
Be, Co, Ge, pb, V, W,	ppb (en algunas de las
Zn, Ga.	aguas producidas)

Se ha llegado a reportar la existencia de dos compuestos -- bastante tóxicos (Hg y Cd) en el efluente de unidades de producción

en plataformas, aunque se tuvieron en niveles por debajo de los mínimos detectables (Hg. 0.5 ppb y Cd 50 ppb).

Aspectos ambientales de otros Parámetros

Los parámetros que se analizarán desde el punto de vista ambiental y los efectos que producen son: salinidad, oxígeno disuelto, compuestos orgánicos diferentes a hidrocarburos y temperatura.

Salinidad.- Muchas de las aguas producidas contienen cerca de 110000 - 200000 ppm de sólidos disueltos totales en comparación de las 36000 a 42000 ppm contenidas en el agua de mar. El efecto que produce descargar estas aguas en cuerpos receptores con mucha menor concentración de salinidad, puede ser grave, dependiendo del volumen de dilución que se tenga en dicho cuerpo receptor.

Oxígeno disuelto.- Depende de la dilución tal y como sucede con la salinidad.

Compuestos Orgánicos Diferentes a Hidrocarburos.- Se encuentran en concentración menores a las que se tienen de hidrocarburos. Por lo que se alcanzan, por medio de la dilución, niveles de concentración que no presentan significancia alguna.

Temperatura.- Las aguas producidas por lo general se encuentran a temperaturas mayores que las aguas de la región, pero la dilución transforma los gradientes de temperatura en no detectables.

5.6.2 GENERALIDADES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

En las Refinerías, Plantas Petroquímicas y Baterías de Deshidratación y/o Separación de Aceite existen diversos efluentes, cuya calidad varía de acuerdo a la antigüedad de la planta tipo de crudo manejado, tipo de proceso y prácticas adoptadas para eliminarlos.

El equipo utilizado en el tratamiento de estos efluentes producidos es muy diverso y puede variar en función de la complejidad de la planta, el clima, limitaciones de espacio, topografía del terreno y otros factores locales, por ejemplo de costo.

La selección adecuada del equipo se basa en considerar los conceptos fundamentales para tratamiento de los efluentes, como

pueden ser:

- Separación de Aceite
- Tratamiento Biológico
- Eliminación de Sólidos Suspendidos

Además, se debe tomar en cuenta la necesidad de realizar pruebas de campo y laboratorio, y analizar la economía, y requerimiento de operación del proceso.

Para lograr obtener el mejor sistema, debemos tener presentes los siguientes puntos:

- Costos de inversión y de operación
- Flexibilidad y Fácil operación
- Integración y uso de sistemas y servicios existentes
- Comportamiento y confiabilidad del proceso.

Por último, una consideración general a seguir cuando se va a diseñar un sistema de tratamiento de efluentes, es el tratar de tener un control del efluente dentro de la Planta que lo produce, ya sea en una Refinería, un complejo Petroquímico o una Batería de Separación, dado que así se tendrán ahorros considerables al momento de darle a esa corriente poco contaminada, el tratamiento final.

5.6.5 PASOS BASICOS EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE REFINERIAS

Para la selección del sistema de tratamiento más adecuado para el efluente de una refinería, se siguen etapas básicas que involucran los conceptos para lo que sirve cada tratamiento y su aplicación a un efluente determinado, según sus características.

Estas etapas básicas son:

- 1.- Separación de Aceite
- 2.- Tratamiento Biológico
- 3.- Eliminación de Sólidos

Otras etapas auxiliares como fosas de retención, manejo de aguas amargas y caústicas, y neutralización, pueden requerirse también.

SEPARACION DE ACEITE

Se tienen dos tipos de separadores:

Primarios y Secundarios

Los separadores primarios son utilizados para eliminación de aceite no emulsionado y sedimentable, y los separadores secundarios eliminan aceite emulsionado.

SEPARADORES PRIMARIOS

La mayoría de los separadores de este tipo, los cuales aprovechan como principios elementales de separación la fuerza de gravedad, son del tipo API, aunque en los últimos diez años se han instalado también otros tipos, como de placas paralelas, placas corrugadas, etc.

Estos tipos de separadores producen, más o menos, las mismas características de agua tratada, si es que son bien operados, pero están sujetos a una misma limitación, no pueden eliminar aceite emulsionado.

El separador de placas paralelas es más pequeño, fácil de techar y más barato que un separador tipo API, pero su tamaño pequeño lo hace incapaz de poder manejar lodos que se forman.

Otra desventaja es que presenta desgastes severos en las placas.

Es de preferencia general utilizar separadores del tipo API debido a su simplicidad, los cuales ni se desgastan ni se taponan cuando se manejan sólidos.

SEPARADORES SECUNDARIOS

Existen tres tipos comunes de procesos usados para separación secundaria de aceite:

- 1) Flotación
- 2) Filtración y
- 3) Coagulación-Sedimentación

Con respecto a la flotación, se puede decir que es menos costosa que los demás métodos y produce nuevos lodos aceitosos que de sechar.

Dentro de la flotación tenemos dos tipos básicos.

a) FLOTACION POR AIRE DISUELTO

Este proceso convencional, en el cual se generan burbujas de aire para flotación disolviendo primeramente aire a presión en el desecho, y posteriormente dejando descender la presión de tal for-

ma que el aire abandone la solución en forma de diminutas burbujas.

Estas burbujas hacen flotar aceite y/o sólidos a la superficie del agua de desecho en el tanque de flotación, en donde son desnatados.

Usualmente se emplean productos floculantes para coagular el aceite emulsionado, aumentando así la eficiencia de la flotación.

Estos floculantes pueden ser polielectrolitos orgánicos, pero también debe usarse sulfato de aluminio o algún producto similar para lograr mayores eficiencias.

B) FLOTACION POR AIRE INDUCIDO.

Este proceso se utilizó originalmente para flotación de minerales. En las máquinas de flotación, un flujo de aire genera burbujas dispersas que hacen flotar el aceite y/o sólidos hacia la superficie, donde éstos son eliminados.

Por lo general, estas máquinas usan rotores para inducir el flujo de aire en forma de burbujas dispersas dentro del desecho, pero existen algunas unidades que usan una bomba de recirculación con boquillas especiales. Este cambio hace que tengan menor consumo de potencia que las máquinas con rotor.

El proceso también usa coagulantes orgánicos.

Ventajas del proceso de flotación por aire inducido con respecto al aire disuelto.

No es necesario utilizar ayuda coagulante inorgánico.

La unidad es cerrada y está diseñada para minimizar olores y emisiones atmosféricas.

Requiere menor espacio de instalación e inversión.

La eficiencia es mayor ó igual, sin contaminado con sustancias extrañas puede reusarse o recircularse.

El tiempo de residencia a usarse en una unidad de flotación es de 4 minutos, usando capacidades comerciales de máquinas de flotación.

Se realizan por lo general pruebas piloto para experimentar polielectrolitos coagulantes y así poder seleccionar aquel que de mayor eficiencia en el proceso.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Hay varios tipos de procesos de tratamiento biológico, entre los más importantes tenemos:

Lagunas de Aereación

CBR (Contactores biológicos rotarios)

Lodos activados.

5.6.4 CARACTERÍSTICAS DE PELÍCULAS DE ACEITE

Se ha determinado experimentalmente que al colocar una gota de aceite en una superficie de agua limpia, este aceite se dispersa formando una capa, la cual tiene el espesor de una molécula, esto dependiendo de la tensión superficial del agua.

Estas película de aceite, al incidir sobre ellas la luz son las responsables de la formación de brillantes bandas de color sobre la superficie del agua.

Dependiendo del espesor de la película se tiene una mayor o menor estabilidad de la misma. Se ha encontrado en películas delgadas de aceite, que estas desaparecen de la superficie del agua en un tiempo límite, debido a la acción de fenómenos naturales.

CARACTERÍSTICAS DE PELÍCULAS DE ACEITE

APARIENCIA DE LA PELÍCULA	ESPESOR APROXIMADO DE LA PELÍCULA (Pig)	CANTIDAD APROXIMADA DE ACEITE POR MILLA CUADRADA DE AREA DE PELÍCULA (Gal)
Escasamente visible bajo las condiciones de luz más favorables	0.0000015	25
Visible como un resplandor plateado en la superficie del agua	0.0000030	50
Se observan las primeras trazas de color	0.0000060	100
Se observan brillantes bandas de color	0.0000120	200

Los colores se tornan opacos	0.0000400	666
Los colores son mucho más oscuros	0.0000800	1,332

Fuentes de Aceite en Aguas de Desecho

El petróleo, consiste de una mezcla compleja de hidrocarburos con pequeñas cantidades de otros derivados de azufre, oxígeno y nitrógeno. Asociados con el petróleo se encuentran cantidades variables de agua, sales solubles y sedimentos.

En una Refinería se recibe petróleo, se le eliminan esta agua y otras impurezas.

El lavado de tanques y equipos, la deshidratación y desalado de crudo la operación anormal o paro de plantas, y las diversas -- operaciones de almacenamiento y transporte de crudo, constituyen las fuentes principales de generación de residuos aceitosos.

El tener un buen drenaje y un sistema de recolección, además de separadores de aceite por gravedad es más que suficiente para - eliminar el aceite y los sólidos suspendidos del agua residual, -- evitando así que estos sean emitidos por una planta o centro de trabajo.

5.6.5 SEPARADORES AGUA ACEITE

Estos separadores son diseñados para proporcionar una buena separación de aceite y agua aprovechando la diferencia en densidad relativa que existe entre ambos.

Otros parámetros importantes que tienen influencia primordial en el buen funcionamiento del separador son la velocidad de flujo, el tiempo de asentamiento de los sólidos y la temperatura.

La mayoría de los separadores por gravedad de una refinería, consisten de dos o más canales paralelos que manejen el flujo de agua aceitosa, proporcionando una velocidad adecuada de flujo, tanto para la separación de aceite, como para la sedimentación de sólidos; y que además permitan la continuidad de la operación cuando se quiera reparar, limpiar o inspeccionar alguno de dichos canales.

Los separadores por gravedad no pueden eliminar el aceite emulsionado y deben protegerse contra inundación en el caso de un aumento no previsto de las aguas a tratar.

El aceite contenido en el agua de desecho que se descarga de los separadores por gravedad puede ser dividido en tres clases:

- 1) Partículas de aceite que después de un período de tiempo razonable alcanzan la superficie en un agua de reposo.
- 2) Aceite adherido a partículas de sedimento que causan que se asiente después de un tiempo razonable de permanecer en un agua en reposo.
- 3) Aceite en gotitas finamente divididas, las cuales permanecen en suspensión en agua en reposo aún después de un largo período de tiempo.

Los efluentes de los separadores se descargan mediante vertederos, en los cuales puede producirse una considerable agitación, lo cual ocasiona la aparición de partículas de aceite en las inmediaciones de los cuerpos receptores, o bien que la agitación haga que se separe aceite que estaba adherido a partículas de sedimentación y que éste flote. Por esto es importantes que las descargas de este tipo de efluentes se produzcan bajo la superficie y a la menor velocidad posible.

5.6.5.1. SEPARADORES AGUA-ACEITE TIPO API

El diseño de recipientes de sedimentación o tanques para separar aceite de agua, utilizando para ello la diferencia en densidad existente entre aceite y agua, ha sido objeto de investigación teórica y experimental a lo largo de muchos años.

La institución que se ha dedicado a este tipo de estudios es el Instituto Americano del Petróleo debido a lo cual este separador lleva el nombre de API.

Es muy importante recolectar y tratar un agua de desecho a un costo razonable, para lo cual hay que sortear un sinúmero de problemas de ingeniería que se presentan según la topografía particular del lugar, por ello existe una gran variedad de diseños.

Estos separadores se diseñan para eliminar aceite de aguas re

siduales, antes de descargarlas del centro de trabajo y su tamaño depende de las propiedades del aceite y flujo de agua residual a manejar.

El separador tipo API solo retiene sólidos y líquidos inmiscibles (aceite) que por sus características se pueden separar por diferencia de densidad. Este separador no puede separar sólidos disueltos ni romper emulsiones estables.

La eficiencia de operación de un separador de flujo, depende de la temperatura del agua, la densidad y el tamaño de los globulos de aceite, así como de la cantidad y características de la materia en suspensión presente en el desecho.

Un problema común que se presenta en los separadores que han sido construidos de gran tamaño para proporcionar bajas velocidades de flujo, necesarias para la separación adecuada del aceite y el agua, es que no es posible dar mantenimiento, ni hay rastra que pueda mover los lodos que se hayan acumulado en el fondo de dicho separador.

PRINCIPIOS BASICOS DE DISEÑO

La separación de aceite por medio de las diferencias en densidades puede expresarse matemáticamente. Los hay rectangulares o circulares, consisten básicamente de un cuerpo ó sección principal, de acuerdo al flujo de agua residual que se maneja, y dimensiones que ésta posee, debe proporcionar al residuo, el suficiente tiempo de retención para que el aceite flote y pueda ser retirado, ya sea por trastras (lodo aceitosos) ó por un tubo ranurado (aceite libre).

Cuando una partícula se mueve libremente en el seno de un líquido y esta sometida a la fuerza de gravedad "g", la velocidad de reposo o sedimentación se vuelve una constante cuando el peso de la partícula es igual a su resistencia al movimiento de una partícula en un medio líquido, es igual al peso efectivo de la partícula cuando ésta ha alcanzado su velocidad final.

La ecuación general propuesta por Newton, para la resistencia al movimiento es:

$$Df = C A \frac{S_w v^2}{2}$$

Df, resistencia al movimiento, (dinas).

C , coeficiente de arrastre, (adimensional)

A , área proyectada por la partícula, (cm²)

Sw, densidad del agua, (g/cm³)

v , velocidad final de la partícula (gota de aceite) en el medio líquido (agua), (cm/seg).

Ecuación que describe la resistencia al movimiento de una partícula esférica pequeña a su velocidad final es:

$$Df = 3 "Pi" vD "mu"$$

donde:

"mu", viscosidad absoluta del agua de desecho a la temperatura de diseño, (poise)

D , Diámetro de la partícula (gota de aceite), (cm)

"Pi", 3.1416

Por otra parte, tenemos la ecuación que define el peso efectivo de una partícula esférica, que es:

$$w = \frac{"Pi" D^3 g}{6} (Sw - So)$$

donde: w , pesos efectivo de la partícula (gota de aceite) en el medio líquido (agua), (dinas).

So, densidad de la partícula (gota de aceite), (g/cm³).

g , aceleración debida a la gravedad (981 cm/seg²).

Si se igualan las ecuaciones haciendo $w = Df$, se obtendrán una nueva relación para v que llamaremos v_a y que se define como la velocidad de ascenso de las gotas de aceite en el agua residual; la cual se expresa como sigue:

$$v_a = \frac{D^2 g}{18 "mu"} (Sw - So)$$

Esta ecuación no es mas que la Ley de Stokes, para la velocidad final de partículas esféricas en un medio líquido.

Esta ecuación debería de incluir un coeficiente de deformación (Cr que depende de las viscosidades relativas del aceite y del agua residual, sin embargo este coeficiente no es necesario calcularlo para fines prácticos, ya que la corrección que debe hacer

a la ecuación, consiste en dividirla entre c_v , pero este valor es cercano a la unidad y puede omitirse.

Las ecuaciones son correctas si el número de Reynolds de la partícula de aceite en ascenso (basado en el diámetro de partícula) es menor a 0.5. Sin embargo, la desviación de la Ley de Stokes es ligera y prácticamente despreciable para fines reales.

La aplicación de la ecuación ha sido ampliamente investigada y se ha determinado experimentalmente que los diseños de separador de aceite en aguas residuales, deberían basarse en velocidades de ascenso de glóbulos de aceite con diámetros de 0.015 cm, debido a que se han encontrado datos de separación satisfactorios cuando se tiene este diámetro de partícula. Con esto tendremos:

$$v_a = \frac{(0.015 \text{ cm})^2 (981 \text{ cm/seg}^2)}{18} \times \frac{1 \text{ pie}}{30.5 \text{ cm}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ g}}{3}$$

$$\frac{S_w - S_o}{\mu}$$

fórmula:

$$v_a = 0.0241 \frac{\text{g pie}}{\text{seg} \cdot \text{cm} \cdot \text{min}} \frac{S_w - S_o}{\mu}$$

que obtenemos la ecuación

$$v_a = 0.0241 \frac{S_w - S_o}{\mu}$$

v_a , velocidad de ascenso del glóbulo de aceite (0.015 cm de diámetro) en agua de desecho, (pie. min.)

S_w , Densidad relativa del agua de desecho a temperatura de diseño.

S_o , Densidad relativa del aceite entrante a temperatura de diseño.

En forma general tenemos:

$$v_a = K \frac{S_w - S_o}{\mu}$$

El valor de la constante K, depende del sistema de unidades empleado.

Los valores que toma la constante mencionada son:

K	Unidades
0.0241	pie/min
0.01226	cm/seg.
0.44136	m/hr

La densidad y viscosidad del agua residual y la densidad del aceite deben determinarse directamente y utilizar para diseño datos recientes de las mismas, sin embargo, pueden encontrarse en algunas tablas valores teóricos apropiados para el cálculo de estas propiedades.

Las ecuaciones son válidas para el diseño de separadores rectangulares con flujo uniforme y libres de corriente de torbellino.

El diseño de éste tipo de separadores se basa en el cálculo de tres variables principales y en cinco reglas.

Para el cálculo del área mínima horizontal:

$$A_h = F \frac{Q_m}{v_a}$$

A_h , área mínima horizontal, (m^2).

F, coeficiente adimensional que considera los efectos de turbulencia y corto circuito hidráulico.

Q_m , gasto de agua de desecho, (m^3/hr)

v_a , velocidad de ascenso, (m/hr)

2) Cálculo de la sección mínima transversal vertical.

$$A_t = \frac{Q_m}{v_h}$$

donde:

v_h , velocidad horizontal de flujo, la cual no debe ser mayor a 15 veces la v_a ni exceder los 3 pies/min (54.86 m/hr).

A_t , área mínima de la sección transversal vertical; (pie^2 o m^2).

3) Relación mínima de Profundidad- Ancho.

$$p/a = 0.3$$

donde:

p, profundidad para contener agua de desecho en el separador, (pie)

a, ancho de la cámara del separador, (pies).

DERIVACION Y DEFINICION DE ESTAS RELACIONES

Area mínima horizontal de un separador

En un separador ideal, en el cual no hubiera turbulencia, la eliminación de una suspensión agua-aceite sería función del gasto de descarga, dividido entre el área superficial del separador, es decir, de la velocidad de inundación en el mismo.

Cualquier partícula de aceite cuya velocidad de ascenso sea mayor o igual a la velocidad de inundación, podrá ser separada, o bien, cualquier partícula con v_a mayor o igual al tirante de agua en el separador dividido entre el tiempo de retención, alcanzará la superficie aunque comience su viaje desde el fondo de la cámara del separador.

Por lo que el área requerida para separar el aceite del agua de desecho es:

$$L a = \frac{Q_m}{v_a}$$

L, longitud del separador, (pie ó m)

Esta ecuación es independiente de la profundidad del separador. Esto se cumple en un separador ideal. Pruebas experimentales han indicado que existe un factor adimensional que toma en cuenta los efectos de corto circuito y turbulencia.

Este factor que toma el valor de 1.2 se recomienda usar para efectos de corto circuito (F_s). En el caso de turbulencia (F_t), dicho factor se incrementaba al crecer la relación entre la velocidad horizontal V_h y la velocidad de ascenso de la partícula v_a , es decir la relación V_h/v_a .

Valores del factor de turbulencia (F_t):

V_h/v_a	F_t
20	1.45
15	1.37

10.127

6.1.14

3.1.07

Cálculo de la Longitud del Separador

A_h el área horizontal del separador real,

$$A_h = L a = F \frac{Q_m}{v_a}$$

$$Q_m = V_h \times A_t$$

$$L = F \frac{V_h}{v_a} = \frac{A_t}{a}$$

A_t puede expresarse como:

$$A_t = a \times p$$

$$L = F \left(\frac{V_h}{v_a} \right) p$$

Esta ecuación, nos permite calcular el largo real del separador.

Sección Mínima transversal del Separador

Se calcula para limitar la extensión en la cual la turbulencia puede afectar la operación del separador. Estos efectos de turbulencia se incrementan como se mencionó anteriormente al aumentar la relación de V_h/v_a . Es posible compensar los efectos de turbulencia disminuyendo la velocidad de inundación esto se logra fijando un máximo en la relación de velocidades y en la velocidad horizontal media. $V_h/v_a = 3$ pies/min.

No hay ninguna teoría con relación a estos valores fijados, pero se ha visto, a través de la operación de este tipo de separadores, que estos son los valores más adecuados para hacer que los equipos operen bien y sean económicos, sin embargo, en algunas ocasiones, cuando el aceite a separar es muy ligero o existen flujos pequeños, se han utilizado para diseño velocidades horizontales de hasta un pie/min.

Relación Mínima Profundidad-Ancho

Como sucede para la relación de velocidades y la velocidad horizontal, esta tampoco ha estado sujeta a un análisis teórico, pero se ha encontrado en pruebas realizadas en separadores experimentales, que para cámaras con la misma superficie, no se presenta ninguna influencia en la retención de aceite hasta que la relación profundidad/ ancho es menor a 0.3.

Aún así, si la economía lo permite, no hay objeción en utilizar una relación de p/a de hasta 0.5.

NUMERO DE DIMENSIONES BASICAS DE LOS CANALES DE UN SEPARADOR.

Es común, algunas veces, si se hace uso de las relaciones recomendadas, que sea necesario utilizar dos o más celdas o canales paralelos para cumplir con las limitaciones prácticas impuestas para la instalación y operación de rastras limpiadoras que sean ligeras. Estas limitaciones son:

- 1) Los canales del separador equipados con rastras no deben exceder un ancho de 20 pies (6.1 m).
- 2) El efecto de agitación que causan estas rastras ha dictado la recomendación de que la profundidad mínima del agua para operar dichas rastras es de 3 pies (0.91 m).
- 3) Se recomienda el uso de secciones paralelas en los separadores, de tal forma que sea posible sacar alguna de estas secciones de operación para darles mantenimiento.

A partir de todas las recomendaciones que se han dado, puede haber otro tipo de limitaciones, como pueden ser: topografía del terreno factores económicos y variaciones en el diseño.

La máxima profundidad de un separador deberá ser de 8 pies - (2.4 m).

En resumen, se deben respetar los límites siguientes:

Velocidad Horizontal (V_h)

3 pies/min (54.86 m/h) ó 15 v_a cualquiera que sea la menor.

Profundidad (p)

mínima 3 pies (0.91 m), máxima 8 pies (2.4 m).

Ancho (a)

mínimo 6 pies (1.8 m), máximo 20 pies (6.1 m).

5.6.5.2 EJEMPLO DE DISEÑO DE UN SEPARADOR GRAVIMETRICO TIPO API.

Con la finalidad de mostrar algunos de los detalles para el uso de las diversas ecuaciones y recomendaciones existentes para el diseño de separadores de agua-aceite tipo API, a continuación se presenta el dimensionamiento de un caso.

Datos de diseño.

Capacidad	3000 GPM = 11.355 m ³ /min.
Concentración de aceite	1200 a 1500 ppm mín. 2900 a 3000 ppm norm. típico.
Temperatura de operación	36 °C
pH agua	8.5
Densidad relativa de aceite	0.85 a 0.9 a 20°C
Viscosidad agua	0.0072 poise = 0.72 centipoises
Densidad relativa agua	0.994

Distribución estimada de partículas.

Diámetro de partícula (micras)	%	concentración		eficiencia de separación estimada %
		entrada ppm	salida ppm	
90 y mayores	60	1800	54	97
60 a 90	25	700	35	95
30 a 60	10	300	90	70
20 a 30	4.5	135	94.5	30
20 y menores	0.5	15	15	0
T O T A L E S	100.0	2950	268.5	—

Cálculo de Dimensiones.

Velocidad de ascenso (v_a).

$$v_a = \frac{K}{18 \mu_{\text{agua}}} (S_g \text{ agua} - S_g \text{ aceite}) D_p^2$$

para partículas de 85 micras = 85×10^{-4} cm.

$$V_a = \frac{981 \text{ cm/seg}^2}{18 \times 0.0072 \text{ poise}} \quad (0.994 - 0.9) \quad (85 \times 10^{-4})^2$$

$$V_a = 0.05137 \text{ cm/seg} = 0.10112 \text{ pies / min.}$$

$$= 3.082 \text{ cm/min} = 184.94 \text{ cm/hr.}$$

Velocidad horizontal (Vh).

$$V_h = 15 V_a$$

$$V_h = 15 (3.082) = 46.23 \text{ cm/min.}$$

$$= 0.4623 \text{ m/min.}$$

$$= 1.516 \text{ pies/min. Cumple, puesto que no excede los 3 pies/min.}$$

Cálculo del Factor (F).

$$\frac{V_h}{V_a} = \frac{1.516}{0.10112} = 15 \text{ que implica } F_t = 1.37$$

$$F_g = 1.2$$

$$F = F_t \times F_g = 1.37 \times 1.2 = 1.644$$

Si tomamos un arreglo de tres fosas en paralelo para manejar los 3000 GPM, tenemos:

$$Q_m/\text{fosa} = 3000/3 = 1000 \text{ GPM} = 3.785 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Area mínima horizontal (A_h).

$$A_h = F \frac{Q_m}{V_a} = 1.644 \times \frac{3.785}{0.03082} = 201.9 \text{ m}^2$$

$$A_h = 22711 \text{ pies}^2$$

Area Sección Transversal (A_t).

$$A_t = \frac{Q_m}{V_h} = \frac{3.785}{0.4623} = 8.1873 \text{ m}^2$$

Relación profundidad-ancho (p/a).

$$(p/a)_{\min} = 0.3 \text{ diseño.}$$

Si la profundidad es de 1.6 m (disponible por terreno)

y el ancho máximo no debe exceder los 6.097 m.

$$a = \frac{1.6}{0.3} = 5.33 \text{ m.}$$

Largo (L).

$$L \times a = A_h ; L = \frac{A_h}{a} = \frac{201.9}{5.33} = 37.87 \text{ m.}$$

Resumen de Dimensiones del Separador Tipo API.

PARAMETRO	DIMENSION
Gasto por Fosa (GFM m ³ /min)	(1000) 3.785
Número de Fosas en Paralelo	3
Velocidad de Ascenso m/min. (m/hr)	0.03082 (1.8494)
Relación v_h/v_a	15
Factor de Turbulencia (γ)	: 1.644
Area Mínima Horizontal por Fosa m ²	201.9
Area Mínima Transver- sal por Fosa m ²	8.1873
Relación Profundidad Ancho	0.3
Largo/Ancho/Tirante ó Profundidad	37.9/5.3/1.6

Se debe considerar una fosa mas de sobrediseño (33 %), -- para mantenimiento y salidas de servicio.

ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SEPARADOR.

Se tienen que recalcular los parámetros importantes de -- diseño de acuerdo a las medidas reales del separador.

-- Cálculo de (v_h).

$$v_h = \frac{Q_m}{A_t} = \frac{11.455 \text{ m}^3/\text{min.}}{4 \times 8.1873 \text{ m}^2} = 0.3467 \text{ m/min.}$$

$$v_h = 1.1372 \text{ pies/min.}$$

- Cálculo de (v_a).

$$\text{Si } \frac{v_h}{v_a} = 15 \text{ eso implica } F = F_t \times F_g = 1.37 \times 1.2$$

$$v_a = \frac{v_h}{15} = \frac{0.3467}{15} = 0.0231 \text{ m/min.}$$

- Cálculo de (A_h).

$$A_h = F \times \frac{Q_m}{v_a} = 1.37(1.2) \frac{11.355 \text{ m}^3/\text{min.}}{0.0231 \text{ m/min.}}$$

$$A_h = 808.12 \text{ m}^2.$$

- Corrección de (v_a).

$$v_a \text{ corr.} = 0.231 \times \frac{808.12}{807.6} = 0.231148 \text{ m/min}$$

$$v_a \text{ corr.} = 0.3852 \text{ cm/seg.}$$

$$\frac{v_h}{v_a \text{ corr.}} = \frac{0.3467}{0.0231148} = 14.999$$

- Tamaño de Partícula (D_p).

$$0.03852 = \frac{9.81}{13 \times 0.0072} (0.994 - 0.9) D_p^2$$

$$D_p = \left(\frac{0.03852}{711.527} \right)^{1/2}$$

$$D_p = 0.007355 \text{ cm} = 73.55 \text{ micras.}$$

- Localización de Tubos Desnataadores.

$$v_R = (v_a^2 + v_h^2)^{1/2}$$

$$v_R = ((0.0231148)^2 + (0.3467)^2)^{1/2} = .3474 \text{ m/min.}$$

$$\text{Tg } \alpha = \frac{v_a}{v_R} = \frac{0.231148}{0.3474694} = 0.0665232$$

$$\text{Angulo } \alpha = \text{arc tg } (0.0665232) = 3.8^\circ$$

- Distancia para localizar los tubos

Tirante = 1.6 m.

$$\text{Distancia} = \frac{1.6 \text{ m}}{0.665232} = 24.05 \text{ m}$$

a la que se debe colocar el tubo desnatador a -- partir del punto de entrada.

- Distancia para Localizar el Canal de Lodos.

Se determina en primer lugar la velocidad de precipitación de sólidos (V_p).

Suponiendo que la densidad relativa de los sólidos con respecto al agua residual es de 2.3 y su tamaño de partícula es de 75 micras, por la Ley de Stokes tenemos:

$$V_p = \frac{981}{18 \times 0.0072} (2.3 - 0.994) (75 \times 10^{-4})^2 =$$

$$V_p = 0.555597 \text{ cm/seg} = 33.33583 \text{ cm/min} = 0.3333563 \text{ m/min.}$$

Por teorema de Pitágoras.

$$V_{rp} = (V_p^2 + V_h^2)^{1/2}$$

$$V_{rp} = ((.33333)^2 + (.3467)^2)^{1/2} = .4809662 \text{ m/min.}$$

$$\text{Tangente de beta.} = \frac{V_p}{V_h} = \frac{0.3333}{0.3467} = 0.96135$$

$$\text{Angulo de beta} = \text{arc tan}(0.96135) = 43.87^\circ$$

Distancia máxima en la que se puede recuperar el lodo.

Tirante = 1.6 m

$$\text{Distancia horizontal} = \frac{1.6}{0.96135} = 1.664 \text{ m}$$

Esta es la distancia máxima en la que teóricamente se precipitarán los sólidos sedimentables mayores a 75 micras.

- Capacidad del cárcamo de aceite.

Si la concentración de aceite en el influente es de 2950 ppm y en el efluente de 2661 ppm, el aceite retenido será de 2661 ppm.

Calculando esta cantidad como un % en volumen tenemos:

$$\%Vol = \frac{2661}{S_{G0} \times 10000} = \frac{2661}{0.9 \times 10000} =$$

$$\%Vol = 0.2957$$

Por lo que el aceite recuperado será:

$$\begin{aligned} \text{Aceite recuperado} &= 0.002957 \times 3000 \text{ GPM (1440 min/día)} = \\ &12775.2 \text{ gal/día} = 46.35 \text{ m}^3/\text{día de} \\ &\text{aceite al } 100\% \end{aligned}$$

Si suponemos que este aceite va acompañado de un 80% de agua, tenemos que;

$$\text{Capacidad del Cárcamo} = \frac{46.35}{0.2} = 241.7 \text{ m}^3 \times 7 \text{ días}$$

Capacidad del Cárcamo/semana = 1692.4 m³ con lo que -- fácilmente se pueden calcular sus dimensiones en función del área y tipo de terreno disponible.

- Bomba de Aceite Recuperado.

Se calcula en base de 30 min. a una hora de tiempo de bombeo.

- Mamparas de Retención de Aceite.

Se sumergen de 0.5 a 0.6 veces la profundidad del líquido que está contenido en el separador.

- Canales de Lodos.

Se les da una profundidad de 2.5 pies. Tienen forma de pirámide truncada invertida, en su base miden 25 pulgadas y en su corona 2 pulgadas.

- Bombas de Lodos.

Con capacidad para manejar gastos de aproximadamente 25 GPM.

5.6.6 FILTRACION PARA LA ELIMINACION DE ACEITE.

En algunas ocasiones es necesario dar un tipo de tratamiento determinado al agua residual antes de inyectarla al subsuelo.

Este tratamiento por lo general tiene como objetivo liberar el agua residual de sólidos y aceite, los cuales puedan dañar el equipo de bombeo, por lo que el tratamiento que se aplica es por lo general una filtración.

Este método, como una etapa de pretratamiento para la eliminación de sólidos y aceite es un sistema que puede usarse solo o en forma conjunta con separadores por gravedad o máquinas de flotación con aire.

Estos dispositivos han probado ser muy efectivos para eliminar aceites libres y en emulsión. Los medios filtrantes que se usan varían desde arena hasta algún material especial que ofrezca alguna afinidad específica por el aceite. Los ciclos de filtrado varían según el contenido de sólidos en el desecho.

Por otra parte, la regeneración del hecho se lleva a cabo introduciendo un flujo rápido de agua limpia que evacúe los sólidos y el aceite remanente.

Algunas de las desventajas en los sistemas de filtración se encuentran en: problemas con emulsiones estables de aceite, acumulación de basura, altos costos de mantenimiento y de operación, reportándose algunas veces eficiencias menores a las de sistemas de separación por gravedad.

Una práctica común es la de proporcionar el efluente un acabado final, mediante el uso de filtros de medio dual (arena y carbón), a flujos de 3 GPM/ft², los cuales eliminan los residuos de DCO, grasas y aceites y sólidos suspendidos.

El retrolavado de estos filtros se sedimenta y el agua decantada se recircula para su tratamiento en máquinas de flotación.

Las unidades de filtración de agua residual aceitosa en medio poroso se basan en el principio de D'Arcy para el flujo por gravedad de una mezcla líquida de dos fases.

La ley de D'Arcy enuncia que la velocidad de un fluido homogéneo en un medio poroso es proporcional al gradiente de presión; inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. Esto se expresa matemáticamente por:

$$V = \frac{-K}{\mu} \frac{dp}{ds}$$

Donde: V = velocidad aparente (cm/seg)

" μ " = Viscosidad del fluido (cps)

$\frac{dp}{ds}$ = Gradiente de presión (atm/cm)

K = permeabilidad (D'Arcy)

Esta ley se aplica solamente para flujo en régimen laminar, de ahí la necesidad de controlar la velocidad de flujo de alimentación a la unidad de filtración.

La permeabilidad de un medio poroso es su habilidad para permitir el flujo de fluidos a través de él.

$$\frac{dp}{ds} = V_p = i \frac{dn}{dx} + j \frac{dp}{dy} + k \frac{dp}{dz}$$

Para flujo por gravedad (vertical)

$$\frac{dp}{dx} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{dp}{dz} = 0$$

Por lo que:

$$\frac{dp}{ds} = \frac{dp}{dy}$$

Substituyendo se obtiene:

$$V = \frac{K}{\mu} \frac{dp}{dy}$$

Pero por definición $V = q/A$ entonces,

$$\frac{q}{A} dy = - \frac{K}{\mu} dp$$

integrando esta ecuación entre los límites de 0 a L y de P_2 a P_1 tenemos:

$$\frac{q}{A} \int_0^L dy = - \frac{K}{\mu} \int_{P_2}^{P_1} dp$$

$$\frac{q}{A} L = - \frac{K}{\mu} (P_2 - P_1)$$

con lo que:

$$q = \frac{KA}{\mu L} (P_2 - P_1)$$

Es en este caso la permeabilidad absoluta y la permeabilidad relativa es la relación entre la permeabilidad efectiva y la permeabilidad absoluta.

$$K_{ro} = \frac{K_o}{K} \quad , \quad K_{rw} = \frac{K_w}{K}$$

Se puede observar que la separación dependerá de la viscosidad del fluido y de la sección transversal del separador por donde pasa el flujo.

Puede observarse que cuando el aceite y el agua se encuentran mezclados la penetrabilidad o permeabilidad de cada fase decae rápidamente.

5.6.7 LAGUNAS DE AERACION.

Es el sistema más simple en términos de construcción y operación. La igualación de la alimentación en una fosa no es necesaria, dado que estas lagunas proporcionan grandes volúmenes de perfecto mezclado que diluyen los baches de contaminantes que pudieran venir en el influente.

Estas lagunas pueden manejar mayores concentraciones de aceite que otros procesos biológicos.

Una desventaja de este proceso es que en climas fríos es inadecuado, ya que la pérdida de calor en la laguna reduce la temperatura del agua hasta un punto en que la actividad biológica es insuficiente.

Otra desventaja es que estas lagunas requieren mayor área disponible.

Para el diseño de las lagunas se utilizan métodos simplificados y modificados. Para estimar el tiempo de retención requerido se usa la ecuación:

$$\frac{D_{50} \text{ Influyente}}{D_{50} \text{ Influyente}} = \frac{1}{1 + kt}$$

en donde k = constante de velocidad biológica (1/día).

t = tiempo de retención (días).

DQO = Demanda Bioquímica de Oxígeno.

En la práctica se han obtenido valores de k entre 0.1 y 1.1 dependiendo de la temperatura y el grado de aereación y mezclado.

Para estimar la aereación requerida se determina la transferencia de oxígeno necesaria, mediante un balance de DQO.

O_2 requerido lb/día = m , DQO influente - DQO efluente
donde m = flujo másico de desecho (lb/día).

DQO = Demanda química de oxígeno.

El grado de aereación requerido puede estar fijado por la transferencia de oxígeno requerido ó por el nivel de mezclado deseado. Este nivel de mezclado fluctúa casi siempre entre 10 a 20 hr/ Mgal. de volumen de la laguna.

5.6.8 CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS (CBR).

Este proceso consiste básicamente en una serie de discos montados en una flecha horizontal rotatoria, parcialmente sumergida en el agua residual. En estos discos se presenta un crecimiento bacteriano (especie de lama), el cual se encarga de absorber los contaminantes del desecho y oxidarlos utilizando el oxígeno presente en la atmósfera.

El exceso de crecimiento bacteriano se va desprendiendo de estos discos y fluye junto con el efluente tratado. Se han hecho mejoras recientes a estos sistemas construyendo los discos de un material corrugado, el cual presenta mayor área de

- contacto para el tratamiento y de una mejor resistencia mecánica.

Las ventajas de este sistema de tratamiento son:

- Operación simple.
- Bajos requerimientos de Área y potencia.
- Se puede integrar una operación en etapas para obtener mejor rendimiento.
- Adecuado para usarse en climas fríos, ya que se presentan pocas pérdidas de calor.
- Permite construcción modular, es decir: se pueden agregar unidades si se requieren manejar flujos cada vez mayores.

DESVENTAJAS.

- Requiere más área superficial del disco, mientras mayor es la carga de DCO.
- Requiere de un equipo extra como un clarificador, que elimine los sólidos formados, mediante sedimentación.

La aplicación de este tipo de sistemas se ve limitada a plantas medianas y pequeñas con cargas moderadas de desecho.

Es recomendable hacer pruebas piloto antes de dimensionar la unidad, pero cuando el agua residual no está disponible, - esto es, en el caso de nuevas plantas se utilizan frecuentemente datos de pruebas piloto realizadas en refineries cuyos efluentes sean similares.

Se supone que la velocidad de eliminación de DCO en una etapa del CDR es proporcional a la DCO presente en esta etapa y que el desecho se encuentra uniformemente, mezclado. La ecuación es:

$$V = \frac{K}{K + \text{DEC influente} - \text{DEC efluente}}$$

$$V = P \left(\frac{\text{DBO efluente}}{K + \text{DEC efluente}} \right)$$

V = Velocidad de eliminación específica del DBO por unidad de área del medio de tratamiento. lb/día-ft²

M = Flujo másico de desecho, lb/día.

A = Área de una etapa del CBR, ft².

P = Constante = valor máximo de V

K = Constante = DBO a la cual $V = \frac{P}{2}$

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Los parámetros de diseño que se seleccionan para minimizar la posibilidad de crecimientos aneróbicos en las etapas de los CBR y evitar el sobre crecimiento biológico en los discos, que ocasione una sobrecarga mecánica para el CBR son los siguientes:

- 1) Carga de DEC aplicada a la primera etapa del CBR -- comprendida entre 0.012 y 0.015 lb/día.-ft² .
- 2) La velocidad de eliminación total de DBO debe fijarse entre 0.002 y 0.003 lb/día.- ft² .

Con respecto al diseño de clarificadores, los gastos -- máximos a manejar son de 700 Gal./día ft²., con lo que se -- da una sedimentación adecuada " se obtiene un efluente con -- bajo contenido de sólidos suspendidos.

Otra práctica recomendable a seguir cuando se instala un sistema de CBR es incluir una fosa de igualación previa al mismo para que se puedan atenuar las fluctuaciones de carga orgánica a tratar, con lo que se asegura un comportamiento óptimo del CBR y se obtiene una buena eficiencia de eliminación de contaminantes.

5.6.9 LODOS ACTIVADOS.

Este es uno de los procesos más antiguos que se han establecido para el tratamiento de aguas residuales. Sus ventajas son:

- Menor costo que los CBR para instalaciones grandes.
- Poco requerimiento de área.
- Operación satisfactoria en climas fríos.

DESVENTAJAS.

- Altos requerimientos de potencia.
- Mayor costo para instalaciones pequeñas y medianas.
- Proceso que requiere mayor control durante la operación.
- Recuperación lenta al alimentarle carga orgánica en descontroles, requiere laguna de igualación en la alimentación.

Para el diseño de unidades de lodos activados se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{DBO \text{ efluente}}{DBO \text{ influente}} = \frac{1}{1 + K_s X t}$$

donde:

- K_s = Constante de velocidad de reacción hr^{-1} , ppm^{-1}
- X = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado ppm.
- t = Tiempo de resistencia de la laguna de aereación hr.

Algunos valores típicos utilizados en refinéncias son:

$$K_a = 0.0003 \text{ hr}^{-1} \text{ ppm.}^{-1}$$

$$X = 2000 - 6000 \text{ ppm.}$$

pero estos valores dependen básicamente de las características y de la biodegradabilidad del agua de desecho a tratar.

Los requerimientos de aereación se calculan como en el sistema de CBR y los requerimientos de potencia para mezclado se calculan usando una base de 20 Hp/millón de Gal.

El clarificador forma parte esencial de la unidad de lodos activados, este se diseña para un flujo de 400 Gal/día-ft² Y/o para manejo de sólidos de 20 lb/día-ft² cualquiera que se alcance primero.

5.7 ACONDICIONAMIENTO Y USO DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA

5.7.1 ACONDICIONADO PARA FLOTACION

PRODUCCION DE ESPUMA.

Al hablar de líquidos, es bueno recordar que en la flotación el único que se debe de tomar en consideración es el agua.

En la superficie de todo líquido contenido en un recipiente, existe una fuerza tensora llamada "Tensión Superficial" y su valor es medido por el trabajo que hay que hacer para mover una molécula del interior a la superficie contra la atracción de otras moléculas. El agua tiene una muy alta Tensión Superficial comparada con otros líquidos los cuales tienen pesos específicos cercanos al del agua, tales como: Alcohol Etilico, Benzina, Petróleo, Turpetina, etc.

El efecto de la tensión superficial es el de contraer la superficie de un líquido a la mínima área. Esto explica la forma esférica de las burbujas en el agua, ya que una esfera tiene el área mínima para un volumen dado y por este motivo, si dos burbujas se juntan, forma una sola de mayor tamaño, lo que hace que al subir las burbujas a la superficie, se revienten. Con el objeto de evitar lo anterior, o sea la unión de las burbujas, dentro del agua y facilitar que ellas persistan como espuma cuando suban a la superficie condición que es necesaria para la flotación, debe de impartirse a la superficie del agua cierta elasticidad, la cual es dada por medio de reactivos espumantes.

Uno de los principales requisitos de los reactivos espumantes consiste en que sus moléculas deben tener menos atracción por las moléculas de agua, que el que tienen éstas por otras moléculas extrañas. Cuando una pequeña cantidad de reactivo es disuelta en el agua, sus moléculas son virtualmente empujadas hacia afuera de la masa líquida hacia la capa superficial, por la atracción mayor de las moléculas de agua, unas con otras. El resultado es que las moléculas de reactivos son concentradas, o ADSORBIDAS, en la superficie del líquido. Una completa adsorción es evitada por el movimiento molecular, pero el grado de concentración en la película superficial es alta.

Para los propósitos de la flotación, es de desearse lograr la más baja tensión superficial.

ACONDICIONADORES ESPUMANTES

Estos reactivos deben ser solubles o en cualquier grado miscibles en agua con el objeto de que puedan formar parte del sistema líquido o de la fase líquida, pero a la vez estos reactivos deben tener una fuerte tendencia a concentrarse en el límite interfase aire-agua. Como regla general, estos requisitos son satisfechos por los compuestos tales como la kerosena y los hidrocarburos similares, los cuales, no son solubles ni miscibles en agua.

El grupo del alcohol amílico, es un buen espumante.

Es requerida una pequeña cantidad de reactivo para producir espuma, ésta cantidad es del orden de 0.005% en peso.

USO DE LOS ESPUMANTES EN LA PRACTICA.- El grupo de espumantes alcohólicos descritos antes, no son extensamente usados en la flotación de minerales metálicos, pero encuentran su principal aplicación en la flotación de los minerales no-metálicos. Los reactivos principales de esta clase son los espumantes de la Du Pont B-22 y B-23.

Para la flotación de los minerales metálicos, un espumante menos selectivo que los alcohólicos, es preferido. Los reactivos usados en la práctica contienen usualmente una mayor o menor proporción de hidrocarburos inertes, los cuales no tienen propiedades espumantes, pero funcionan ligeramente como colectores. De los muchos reactivos puestos en el mercado dos solamente son de uso común en la actualidad: el aceite de pino y el ácido cresílico.

El aceite de Pino, es extraído del Pino por destilación con vapor. Sus constituyentes son el alcohol de Turpentina, el cual posee buenas propiedades espumantes y una pequeña proporción de hidrocarburos de turpentina. Es un reactivo espumante y tiene la ventaja de poderse emulsionar y disolver con una pequeña agitación.

El Acido Cresílico el cual es obtenido de la destilación del carbón de piedra, es más selectivo que el aceite de pino y produce una espuma más frágil. Sus constituyentes espumantes son cresol y xilenol, el resto es una cantidad mayor o menor de hidrocarburos.

inertes.

De los otros reactivos encontrados algunas veces, la mayoría son productos locales los cuales se usan por ser más baratos que los reactivos importados y ellos generalmente, contienen como constituyente de su activación el aceite de pino. Así, los aceites de eucalipto, los cuales son preparados en Australia, son hechos del EUCALYPTUS AMYGDALINA, sus principales constituyentes son el alcohol de turpentina, del cual aproximadamente el 20% es eucalipto con una pequeña cantidad de hidrocarburos de turpentina.

El Acido Oleico, puede ser clasificado como espumante, de cualquier manera su principal uso es como un promotor en la flotación de los minerales no-metálicos. Después de haber sido hecha una adición a la pulpa como promotor de la flotación, cualquier exceso actuara como espumante. La espumación de ácido oleico, es muy vigorosa, a tal grado que la ganga del mineral se agrupa y sale por acción mecánica. En esos casos una espuma más selectiva puede ser usada y obtenida reemplazando parte del total del oleico en exceso por uno de los reactivos Du Ponto o Emulsol, o con alguno de los espumantes No. 80 ó No. 60 de American Cyanamid Company, estos dos últimos -- reactivos, tienen la ventaja de ser más baratos que los otros.

El consumo de reactivo espumante en una operación normal es, de aceite de pino de 0.05 a 0.15 lbs./ton. de mineral, de los espumantes alcohólicos o los Emulsoles debe ser menos. El consumo de ácido cresílico algunas veces de alto, de 0.1 a 0.4 lbs./ton.

5.7.2 ACONDICIONADORES COLECTORES

Las partículas de sulfuros minerales tienen una tendencia a curbrirse por una película de aceite, mientras que la ganga del mineral permanece inalterable. La naturaleza del agua para repeler el aceite o las grasas es bien conocida. En un banco de trabajo aceitoso, el agua se separa en gotas y no tiende a esparcirse sobre la superficie del banco. De la misma manera una gota de agua puesta sobre una pieza de mineral engrasado o aceite, tiende por sí misma a tomar una forma más esférica que si estuviera sobre una superficie limpia de aceite del mismo mineral. En otras palabras, una película de aceite vuelve al mineral no-mojable tendiente a salir de la fase líquida y adherirse a la superficie o a cualquier burbuja

con las cuales se encuentra en contacto en una celda de flotación. El proceso de cubrir las partículas por una película de aceite, obsoleto en la actualidad, fué puesto en práctica por la agitación violenta de una pulpa de mineral finamente molido durante varios minutos con la cantidad necesaria de un aceite pesado, usualmente 0.5 a 1.0 lbs. de aceite por tonelada de mineral tratado. La operación era hecha en una celda rectangular con un impulsor rotatorio en la parte de abajo. La pulpa entraba a la celda en forma continua por un lado cerca de la parte baja y salía por una descarga ajustable en el lado opuesto. El aceite colector era agregado en la celda y emulsionado en ella por medio de una fuerte agitación y al mismo tiempo distribuido a través de la pulpa. Los principales constituyentes del aceite eran insolubles o casi insolubles y fuertemente repelentes al agua, consecuentemente, iban a la superficie del líquido y se concentraban en las interfases aire-agua y agua-sólido, probablemente en la forma de pequeñas gotas. De esa manera, los minerales eran cubiertos (parcial o totalmente) por una película de aceite que formaba una película no mojable y sus partículas consecuentemente se hacían flotables. Se ha deducido que la película de aceite es de espesor apreciable y no de dimensiones moleculares.

El método de flotación por película de aceite ha sido sustituido en los últimos años por el uso del que se denomina "Promoción con reactivos". La característica del primero era una espuma tenaz, debida presumiblemente a la presencia en los minerales y alrededores de las burbujas, de capas absorbidas de gran cantidad de aceite colector (0.5 a 1.0 lbs. por tonelada de mineral tratado con 0.05 a 0.15 lbs. de promotor por tonelada en la práctica moderna). Las burbujas cargadas de mineral tienden a juntarse por medio de la película formada y la espuma formada era tenaz y consecuentemente no se rompía. El único uso actual de los aceites colectores es el de hacer una espuma persistente cuando es frágil, para este propósito una adición de 0.1 a 0.3 lbs. de aceite por tonelada es suficiente.

El término "aceite colector o colector" fué aplicado a esos reactivos por sus propiedades de colectar los minerales en un agio

merado y algunas veces en una delgada masa de burbujas. Los llamados "reactivos promotores o promotores" empleados en la práctica moderna preparan la superficie del mineral para ser flotada, en forma semejante a los aceites, o sea haciéndola no-mojable, pero la cubierta formada es una película de dimensiones mono-moleculares y debido a ese espesor, hay un pequeño cambio cuando las burbujas cargadas de mineral chocan. Estos reactivos, son llamados "promotores" porque su acción es la de promover la flotabilidad de los minerales de seados, sin colectarlos dentro de la masa de burbujas aglomeradas. Una característica del proceso de la película es la facilidad con que la espuma de la pulpa de mineral y agua se separan y salen de la celda de flotación.

5.7.3. ACONDICIONADORES PROMOTORES

Los "reactivos promotores" ó "promotores" empleados en las prácticas modernas, son principalmente los "Xantanos" y los "Aerofloats" o sus derivados.

Un xantato es un di-thio-carbonado. "Aerofloat" es el nombre dado a un reactivo líquido que tiene ácido di-cresilthio-fosfórico, como constituyente.

Las partículas de minerales vienen a ser cubiertas por una película fuertemente no mojabable del grupo de hidrocarbones. Las partículas cubiertas por la película son consecuentemente más flotables y por esa razón más captables por las burbujas que suben a través de la pulpa en una máquina de flotación. Además, pueden ser colectadas con menos burbujas de aire de las que son requeridas en el proceso de la película de aceite y consecuentemente hay una menor tendencia de las partículas de ganga a ser atrapadas entre las burbujas y también hay una menor tendencia de las burbujas mismas a apilarse. En otras palabras, el proceso de la película produce una gran recuperación de valores minerales y una espuma limpia.

EL XANTATO ETILICO

Es alrededor de la mitad en precio de los demás xantatos y por eso, su uso generalmente es preferido.

USO DE LOS PROMOTORES EN LA PRACTICA

Los reactivos promotores más ampliamente usados son los Xanta

tos, el siguiente en uso es el aerofloat y la Thiocarbanilida el tercero.

Los xantatos son muy rápidos en su acción y normalmente pueden ser agregados en la cabeza de la máquina de flotación. Ellos generalmente trabajan mejor en un circuito de pH 8.0 ó mayor, pero puede ser bajado y no tiene que ser regulado con exactitud.

Todos los xantatos son muy solubles en agua y son agregados al circuito en soluciones de 10 a 20%. Su consumo en promedio es bajo variando de 0.5 a 0.15 lbs. por tonelada de mineral.

DEPRESORES ACTIVANTES Y OTROS REACTIVOS ACONDICIONADORES.

La operación de la flotación, no siempre tiene el fin de separar los valores que constituyen un mineral de una matriz compuesta por minerales no-flotables. Frecuentemente sucede que en un mineral hay dos clases de minerales flotables presentes de los cuales, sólo uno es requerido. El proceso por el cual se flota una clase con preferencia del otro, se llama flotación selectiva. Si, el segundo mineral es subsecuentemente recuperado, la operación es descrita como "flotación selectiva en dos pasos".

Actualmente se practican flotaciones en tres pasos y aún hasta en cuatro-pasos. Por ejemplo, minerales que contienen sulfuros minerales de plomo, cobre, zinc y fierro pueden ser tratados para producir cuatro concentrados sucesivos, cada uno de los cuales es recuperado por separado de los otros.

La flotación selectiva se hace con diferentes tipos de reactivos, "Depresores" y "Activantes". La función de los reactivos "depresores" es la de hacer no-flotable un mineral que normalmente es flotable, el cual no es deseado en un particular concentrado. Los reactivos "activantes", tienen el efecto contrario: estos, vuelven flotables a los minerales que naturalmente son inflotables.

Además de los reactivos descritos, hay otros que son usados para propósitos semejantes a los de controlar el pH, en el circuito de flotación o para dispersar las lamas de la ganga floculada.

5.7.4. ACONDICIONADORES DEPRESORES

Los reactivos depresores comunes son Cal. Cianuro de Sodio y Sulfato de Zinc.

La cal es extensamente usada para prevenir que las pirritas entren a formar parte de los concentrados de otros minerales, particularmente con los sulfuros de cobre de zinc. Su acción es positiva y progresiva; es solamente necesario agregarla en cantidad suficiente para subir el pH, de la pulpa arriba de un punto crítico, el cual es usualmente alrededor de 10, pero varía con diferentes minerales para hacer a la pirita no flotable. Los demás sulfuros minerales son deprimidos al mismo tiempo pero pueden ser flotados nuevamente por la adición de una cantidad suficiente de Xantato, el cual no tiene efecto sobre las pirritas siempre que haya sido agregada una cantidad suficiente de cal.

La cal puede ser usada para hacer un concentrado limpio de esfalerita en el segundo paso de la separación del plomo del zinc, en un mineral piritoso.

El consumo de cianuro de sodio, varía de 0.1 a 0.3 lbs. por tonelada de mineral y el del sulfato de zinc de 0.3 a 0.9 lbs. por ton. Ellos son agregados en solución al 20% en el circuito.

El cianuro de sodio es ocasionalmente sustituido por la cal en la flotación de minerales de sulfuro de cobre que contengan pirritas ya que esta tiene un poder depresor mayor sobre las pirritas que sobre los minerales de cobre. Generalmente para levantar los sulfuros de cobre se usan los Xantatos, éstos son agregados balanceándose contra el efecto del cianuro para tener una recuperación de los valores de cobre aceptable y con la menor cantidad de pirritas. El cianuro de sodio es el reactivo más comúnmente usado para deprimir la esfalerita en el primer paso de la flotación en la separación del plomo en minerales de zinc. Su acción sobre las pirritas es casi tan fuerte como sobre las esfaleritas, pero no afecta la galena. A primera vista, no parece ser necesario el uso de un depresor en la separación del plomo y zinc ya que normalmente, los minerales de zinc no flotan con los reactivos con los cuales flota la galena, pero la presencia de una pequeña cantidad de sales solubles de cobre en la pulpa puede activar los minerales de cobre. Cualquier reactivo promotor que sea agregado para flotar la galena puede flotar también los minerales de zinc, los cuales han sido recubiertos por la película; en estas condiciones, será producido un concentrado mezclado el cual tiene un bajo valor en el mercado en consideración a las dificultades o costos para fun-

dirlo. La mayor parte de los minerales de plomo y zinc contienen una pequeña cantidad de minerales de cobre. Los minerales de zinc pueden ser deprimidos por la adición de una cantidad crítica de cianuro, usualmente cianuro de sodio, que normalmente es de 0.1 a 0.3 lbs., por tonelada de mineral.

El uso de una mezcla de cianuro de sodio y sulfato de zinc es algunas veces más efectiva que el cianuro solo para deprimir los sulfuros de zinc.

5.7.5 ACONDICIONADORES ACTIVANTES

Un principal ejemplo de los reactivos activantes es el sulfato de cobre, el cual es invariablemente empleado para flotar los minerales de zinc en el segundo paso de la flotación de minerales de plomo-zinc. El primer paso es la flotación de plomo o flotación-plomosa, en el cual los sulfuros de zinc son deprimidos por el cianuro de sodio y otros depresores. En el segundo paso de la flotación el mineral de zinc es activado por medio de un exceso de sulfato de cobre; una cantidad suficiente debe ser usada, generalmente de 0.5 a 0.1 lbs. por tonelada de mineral, para neutralizar el efecto depresor de cualquier cantidad remanente de cianuro en la pulpa, en adición a la cantidad requerida para levantar la concentración de ión-cobre al valor crítico requerido. Un tiempo de contacto, que varía de 5 a 20 minutos, es requerido de acuerdo con la naturaleza del mineral antes que la activación sea completa; después de dicho tiempo, el mineral de zinc que ha sido activado, puede ser flotado por promotores como los xantatos o los di-tio-fosfatos. El sulfato de cobre activa también a las pirrotitas y se extiende a algunas piritas.

Otro activante común es el sulfuro de sodio, de uso en flotación de los minerales oxidados de plomo, tales como cerusita y anglesita. Este es generalmente agregado a la pulpa en un tanque acondicionador antes de las máquinas de flotación en cantidad suficiente (1 a 5 lbs. por tonelada de mineral) para formar una cubierta de PbS sobre la superficie del mineral. Un tiempo de contacto de 5 a 20 minutos es necesario antes de que sea completamente cubierto, después el mineral puede ser pasado a la celda de flotación y flotado con un promotor apropiado. El sulfuro de sodio es

también empleado para activar galena la cual ha sido oxidada superficialmente. En este caso la película de sulfuro puede ser formada en un tiempo comparativamente corto, un minuto o menos y el reactivo puede ser puesto directamente en la máquina de flotación.

El sulfato de cobre es generalmente agregado al circuito en forma de solución, la cual es hecha de la sal cristalizada y usualmente contiene 13%. El aparato del cual es alimentado debe ser constituido de un material que no sea atacado por la solución. Algunas veces es alimentado de un alimentador seco en forma de pequeños cristales. El sulfuro de sodio es preparado en una solución de 10 a 15%.

OTROS REACTIVOS ACONDICIONADORES.- Los otros reactivos usados en la flotación son algunas veces clasificados bajo el encabezado general de "Reactivos modificadores de la matriz". Ellos desempeñan sus funciones como modificadores o reguladores del pH de la pulpa, dispersando, floculando, etc., la lama. Así, considerando los reguladores del pH, se encuentra generalmente que un reactivo promotor tiene su efecto máximo cuando la concentración del ión-hidrógeno (pH) de la pulpa es de valor definido o dentro de límites definidos. Así los aeroflots con muchos minerales trabajan mejor en un pH, entre 7.0 y 7.5 mientras que para tener flotaciones similares con xantatos es requerido tener un circuito alcalino con pH, probablemente de 8.5 a 9.0. Cuando el mejor valor del pH para la flotación de un mineral ha sido determinado, ya sea por experimentos en el laboratorio o en la planta misma, la pulpa es mantenida en ese punto por reguladores del pH.- cal o ceniza de sosa si el pH muy alto (poco frecuente). La cal es usada, cuando es posible, para elevar el pH de la pulpa porque es más barata que la sosa, aunque ésta no siempre puede ser sustituida, como cuando el mineral contiene valores recuperables sobre los cuales la cal actúa como depresor.

Aparte de sus funciones como reguladores del pH la cal y la ceniza de sosa son algunas veces requeridos para remover sales indeseables en solución en la pulpa. Como fierro y sulfato de fierro que son formados en el circuito de molienda de los minerales piritosos y provocan un efecto dañino en la flotación a menos que sean precipitados por uno de los reactivos anteriores. Interferencias pueden ser causadas por aguas duras conteniendo cantidades ex

cesivas de calcio y sulfato de magnesio, dichas interfeerencias pueden ser evitadas por la adición de cenizas de sosa, la cual remueve dichas sales para convertirlas en carbonatos de calcio y magnesio relativamente insolubles.

Otra clase importante de reactivos requeridos en la flotación, consiste en los reactivos dispersantes, los cuales son empleados para prevenir que las partículas de lamas cubran a los minerales flotables y los vuelvan in-flotables.

Respecto al recubrimiento por las lamas, ha sido establecido por método microscópicos, que en determinadas condiciones las partículas de muchos minerales pueden cubrir la superficie de los minerales metálicos tan completamente como para impedir que las burbujas se puedan juntar a ellos. Parece ser en efecto, que los minerales metálicos afectados son convertidos en partículas de ganga. La adición de 4 a 5 lbs. de ceniza de sosa o 0.5 a 1.0 lbs. de silicato de sodio por tonelada de mineral, usualmente dispersa las partículas de lamas a tal grado que ellas permanecen en suspensión en el agua. El silicato de sodio tiene un campo muy amplio de aplicación como un reactivo dispersante y es especialmente usado si la ganga es sílice o silicatos. En relación con la acción dispersante, probablemente el aumento en la concentración de ión- SiO_3 , producido cuando el silicato de sodio es agregado a la pulpa, disminuye o invierte la adsorción en la superficie de la ganga de algunos cationes tales como Ca^+ , la presencia de los cuales evita la dispersión.

A pesar de que el silicato de sodio empleado en la flotación, solamente contiene (50% de agua) y siendo esta variedad soluble en agua caliente, usualmente se prepara en soluciones que varían del 30 al 50%. Hay silicato de sodio anhidro o con pequeña cantidad de agua que puede ser obtenido en fragmentos pero es raramente usado, ya que para disolverlo es necesario el uso de la autoclaves, considerando que éste silicato solamente es posible disolverlo a una temperatura mayor al punto de ebullición del agua.

Algunas veces el Almidón es más efectivo que el silicato de sodio y especialmente cuando los minerales tienen talco, coalín, serpentina, grafito, etc., las cuales tienen una fuerte tendencia a flotar. La adición de pequeñas cantidades de almidón, generalmen

te 0.2 y rara vez más de 0.5 lbs. por tonelada, usualmente dispersa esos minerales completamente, pero en el uso de este reactivo debe tenerse cuidado ya que un exceso puede también deprimir los valores de minerales deseados.

El almidón es ventajoso y particularmente usado en la flotación de oro nativo en presencia de lama. El silicato de sodio usado en similares circunstancias tiene una fuerte tendencia a deprimir el oro.

El llamado "almidón soluble" es un reactivo caro para ser usado con miras comerciales y el almidón solamente es parcialmente soluble en agua aún después de tiempos prolongados de ebullición. El mejor método de preparar una solución de almidón, consiste en hacer con almidón común una pasta con agua fría y después hervir ésta con una solución diluida de hidróxido de sodio; una solución de almidón al 5% puede ser preparada en esta forma con una solución de hidróxido de sodio el 2%.

La desventaja del uso del silicato de sodio es que éste dispersa la lama de la ganga tan fuertemente, si se ha usado una cantidad fuerte de reactivo, que hace imposible el asentamiento de las partes finas de las colas tanto en los tanques como en la presa de jales. La cal o algún otro de los reactivos floculantes puede ser agregado para coagular la pulpa, pero la cantidad necesaria es frecuentemente prohibitiva: consecuentemente la adición del silicato de sodio deberá ser la mínima y lo mismo se debe aplicar para el almidón.

Algunas veces, cuando las partículas de lamas forman una cubierta sobre la superficie de los minerales tienen una fuerte tendencia hacia la adsorción de los límites del agua aire, y tienden por sí mismas a juntarse a las burbujas en la máquina de flotación y a formar parte de la espuma, bajando la ley del concentrado. El uso de un dispersante apropiado mantiene a las partículas indeseables en la fase líquida evitando su concentración a la superficie de las burbujas. El meta-fosfato de sodio es algunas veces más efectivo que el silicato de sodio para mantener la calcita y otros minerales de calcio fuera de la espuma, pero su acción parece ser más como depresor que como dispersante.

5.7.6 TANQUES PARA MEZCLA DE ACONDICIONADORES

Un tanque de acondicionamiento o acondicionador, consiste esen-

cialmente de un tanque circular de fierro o madera con un impulsor instalado en la flecha cerca del fondo. Esta tiene una rotación suficientemente fuerte para mantener la pulpa en el tanque completamente mezclada y para asegurar la completa circulación de la pulpa algunas divisiones son instaladas.

En el tanque acondicionador Denver la circulación es obtenida por medio de un tubo estacionario alrededor de la flecha del impulsor. La pulpa entra en la parte superior del tubo y cae sobre el impulsor, el cual está puesto para forzarla hacia abajo y hacia afuera en el tanque. Una placa de fierro fundido y otro material resistente es colocado en el fondo del tanque como órgano de desgate. Los agujeros de recirculación en el tubo interior, aseguran una positiva circulación. La descarga de la pulpa, está situada a un lado del tanque; una serie de agujeros situados uno arriba del otro, permite variar el período de contacto cuando es requerido. El impulsor es movido por medio de un motor vertical a través de bandas "V" y poleas ranuradas.

En tanque acondicionador Fraser y Chalmers Consiste de un tanque cilíndrico con un compartimiento cónico interior y un impulsor en cruz que gira en el fondo. El tanque y el cono son hechos de placas de acero remachadas soldadas, un enlainado interior en el fondo, de fierro fundido, es provisto para proteger el tanque de la acción corrosiva u abrasiva de la pulpa.

La sección cilíndrica del tanque, por su parte superior, tiene suspendida la sección cónica, está llega a una o dos pulgadas del impulsor y está abierta en el fondo, el diámetro de la abertura es ligeramente menor que el del impulsor. La sección baja del cono es desarmable con el objeto de poder desatornillar el impulsor y sacarlo del tanque para su inspección o reparación la parte cónica está provista de varios agujeros para la circulación de la pulpa y el tanque principal, tiene una serie de descargas a diferentes alturas con el objeto de que la pulpa acondicionada sea descargada al nivel requerido.

El impulsor, está asegurado en la parte baja de la flecha principal. La flecha está montada en una guía de la cabeza sujeta a la parte superior del tanque y corre un balero. Este ensamble es movido por medio de banda "V" y polea ranurada en el motor fijo en la

cabeza del tanque.

La pulpa es alimentada en la parte superior del tanque en cualquier punto conveniente y cae sobre el cono para salir de la abertura inferior sobre el impulsor, el cual hace a la pulpa girar dentro hacia afuera en el interior inferior del tanque. Después sube por los lados pasando a través de los agujeros de la sección cónica, juntándose con la corriente de pulpa de alimentación y volviendo a circular por el mismo camino hasta que finalmente es descargada a través de las descargas laterales del tanque con un tiempo apropiado de acondicionamiento.

5.7.7 RECUPERACION DE AGUA

Comúnmente el concentrado de la sección de flotación contiene únicamente de 20 a 30% de sólidos a la salida de la máquina limpiadora y debe ser decantado antes de ser mandado al siguiente departamento. La operación de decantación se lleva a cabo en dos pasos. Primero, la mayor parte de agua se quita por medio de un espesador, del cual el concentrado descarga en forma de una pulpa espesa; por regla general la descarga contiene de 55 a 65% de sólidos mientras que un 70% a 80% del agua original se recupera en el vertedor como agua clara. La pulpa espesada se envía a un filtro del cual los sólidos se descargan en forma de una costra que contiene alrededor de 10% de agua. El costo de quitar el agua por medio de un filtro de vacío es alto comparado con un espesador y esta última máquina se emplea en el primer paso de decantación. Sin embargo, el filtro es esencial en el segundo paso, ya que el espesador no puede dar un producto lo suficientemente seco para ser mandado a la tolvas o manejarse económicamente en el departamento de fundición o algún otro departamento posterior a la sección de filtrado.

ESPEADORES.- Un tanque espesador consiste esencialmente de un tanque cilíndrico de fierro, madera o concreto, con un mecanismo lento que mueve un rastrillo en el fondo diseñado para descargar los sólidos que son asentados en el fondo a través de un cono inferior. La pulpa entra continuamente a través de la compuerta de alimentación al centro del tanque y al nivel superior del mismo, los sólidos se asientan en el fondo y son descargados por el cono, el agua clara derrama en la parte superior del tanque por un anillo

puesto para el objeto alrededor del tanque.

De las varias clases de espesadores en el mercado, aquellos fabricados por la Doorr Company son los más extensamente usados. Hay dos clases de ellos principalmente el de transmisión central y el de asentamiento por tracción. La flecha vertical, la cual lleva el mecanismo de los rastrillos es sostenida en su lugar por baleros montados en una super-estructura. Los rastrillos consisten de un determinado número de paletas soldadas a espacios uniformes en cuatro brazos radiales, las paletas están colocadas en un ángulo tal con los brazos, que ellos mueven a los sólidos asentados hacia el centro del cono al mismo tiempo que se mueven. Normalmente los brazos están colocados varias pulgadas arriba del fondo del tanque, pero un mecanismo levantador que se encuentra en la super-estructura permite que todo el mecanismo de los rastrillos sea levantado, en el caso de que algún atoramiento se provoque o de paro. La flecha es movida a través de un engrane asegurado a la super estructura. La velocidad varía de acuerdo con el diámetro del tanque, variando de 10 pies por minuto para tanques chicos hasta 20 pies por minuto para los grandes (Velocidad periférica del brazo más largo de los rastrillos). El mecanismo es diseñado de tal modo que la flecha puede resbalar entre las ruedas de engranes que la mueve de manera de permitir que las escrepas puedan subirse o bajarse mientras esta en movimiento. El mecanismo puede moverse por medio de una banda y polea de una flecha de transmisión, pero es más conveniente usar un motor directamente para cada espesador instalando este en la superestructura y acoplándolo a un reductor de velocidad, si es necesario.

La descarga inferior del espesador se hace a través de un tubo conectado al cono en el fondo del tanque. La densidad de la pulpa depende de la velocidad de descarga la cual está generalmente controlada por una válvula de purga en la tubería. Si el diseño de la planta no hiciese posible que la pulpa fluya a los filtros por gravedad, puede usarse una bomba para elevarla si hay que levantarla mucho o si no ha sido espesada demasiado, pero si la pulpa es muy espesa es preferible usar una bomba de diafragma.

Para el manejo de concentrados de flotación, un asentador de movimiento central puede normalmente ser empleado para tamaños has

ta de 40 pies de diámetro. El tamaño requerido es determinado por el tonelaje de sólidos que deben ser decantados, la cantidad de agua en la pulpa y la velocidad de asentamiento de los sólidos. - Careciendo de datos específicos, es usual, para propósitos de cálculos primarios, permitir de 10 a 15 pies cuadrados de tanque por tonelada de concentrados secos por 24 horas, pero esta superficie puede ser aumentada de 15 a 20 pies cuadrados para concentrados conteniendo algo de lamas. La fuerza requerida para mover el mecanismo del tanque espesador es muy pequeña; ésta varía de 0.5 HP para los espesadores pequeños y 7.5 HP para los de 300 pies de diámetro.

FILTROS.- El segundo paso para la decantación de los concentrados en los cuales se baja la humedad a más o menos 10%, puede hacerse más económicamente en filtros de vacío. Hay tres máquinas en uso común, el filtro Oliver de tambor, el filtro American de Discos y el filtro Dorrco.

FILTRO OLIVER DE TAMBOR.- Consiste de un tambor hueco que gira en un eje horizontal y está parcialmente sumergido en un tanque que contiene la pulpa de concentrados. El tambor está sostenido por una flecha longitudinal a la cual están sus dos cabezas, cada una de las cuales está provista con un muñón y una o más placas en forma de tela de araña para sujetar el tambor, si es necesario. El muñón gira sobre chumaceras colocadas en cada extremo del tanque, la superficie del tambor está construida a tiras de madera o metálicas y está dividida en compartimientos angostos longitudinales cada uno de los cuales consiste de una caja hueca, la parte superior de la cual está cubierta de una parrilla de drenaje de madera. Uno o más tubos de drenaje conectan con una válvula automática de control atornillada a uno de los muñones. La tela de filtro, comúnmente lona descansa sobre las parrillas cubriendo toda la superficie del tambor; está mantenida en su lugar por medio de un enrollado de alambre, el cual, envuelve el tambor en forma de espiral de uno a otro lado, no solamente sosteniendo la lona sino también protegiendo del desgaste de la escrepa. La operación de cubrir el tambor con la lona es una operación dilatada y es necesario para ello vaciar el tanque.

La válvula de control automático consiste de dos partes un asiento de válvula, el cual está atornillado al muñón y gira con él y una cámara de válvula que se mantiene en contacto con el asiento por medio de un resorte de compresión, pero que no gira. Los tubos de drenaje de los compartimientos del tambor están conectados a orificios en la cara de asiento de la válvula. Los orificios en la cara de la cámara de la válvula están conectados ya sea a una bomba de vacío o un ventilador y conectan con los del asiento de la válvula. Estos están arreglados de tal manera que los compartimientos están ya sea sometidos a un vacío o a una ligera presión de aire de acuerdo con la posición de filtrado. El tanque se mantiene lleno de pulpa. Al sumergirse cada compartimiento del tambor, la válvula lo coloca en un vacío con el resultado de que una capa delgada de concentrado, de 1/2" a 3/4" de grueso, se adhiere a la tela que lo cubre. Al salir del compartimiento de la pulpa, el agua de la torta es sacada a través de la parrilla, de los tubos de drenaje y la válvula de control por la bomba de vacío, la cual entonces jala aire, sacando el concentrado por evaporación, poco antes de que el compartimiento llegue al filo superior del otro lado del tanque, la válvula corta el vacío y admite aire comprimido, aflojando la torta de concentrado lo suficiente para permitir que la escrepa la despegue. Sucesivamente cada compartimiento pasa por un ciclo similar de operaciones.

El tambor es movido por medio de un motor a través de un gusano reductor, estando el engrane fijo a uno de los muñones. Su velocidad es, como promedio, alrededor de una revolución por 10 minutos. Un mecanismo de agitación está suspendido de los muñones y movido por medio de brazos y el engrane transmisor de la fuerza. Este consta de un bastidor que pasa por la parte baja del tambor y lleva tres o más rastrillos que se extienden a toda la longitud del tanque, el cual por medio de su movimiento evita que los sólidos se asienten.

FILTRO DE DISCOS AMERICAN. - Consta de una serie de discos circulares montados en una flecha pesada central sobre un tanque de forma especial. La flecha está sostenida por medio de chumaceras y muñones y es movida por medio de un engrane de gusano, en la misma forma que el filtro Oliver, su promedio de velocidad es de una

revolución en 8 minutos. Una válvula de control automática del mismo tipo a la que se ha descrito está fija a uno de los muñones. Cada disco está formado de 8 a 10 sectores de forma similar. Cada uno está montado en una cabeza de fierro colado hueco y con un nipple que se atornilla a un orificio en la flecha central comunicando con el canal apropiado de drenaje, estando ajustado por medio de una rondana de hule para evitar el paso del aire. Una serie de varillas de acero que salen de la flecha central a manera de rayos de una rueda, están arreglados de manera que entran en el espacio entre las orillas de acero que salen de la flecha central a manera de rayos de una rueda, están arreglados de manera que entran en el espacio entre las orillas de los sectores adyacentes. Un marco que sirve de broche, diseñado de manera de sujetar las dos esquinas de los sectores están sujetos firmemente alrededor de la flecha formando un disco completo. Una gran ventaja de esta construcción es que una sección determinada se puede cambiar en unos cuantos minutos sin molestar a los demás sectores. Cualquier número de discos puede montarse en la flecha.

El interior de la flecha central está fundida con el mismo número de canales longitudinales de drenaje como sectores hay en el disco, estando cada canal conectado a un orificio separado en el asiento de la válvula automática; los sectores correspondientes en cada disco descargan en el mismo canal. La válvula automática controla el ciclo de operaciones formando torta en ambos lados del filtro de tambor. El raspado de la torta se facilita por medio de rodillos que hacen contacto a cada lado del saco de lona cuando éste está inflado. El tanque tiene canales en los discos en el lado de descarga de manera de dar al material una caída libre al dejar los rodillos. No está provisto de ningún mecanismo de agitación. Si se encuentran dificultades por el asentamiento de las partículas pesadas, la pulpa se bombea a través del fondo del tanque permitiendo que el derrame regrese a la bomba, manteniendo esta corriente ascendente lo suficientemente rápida para mantener los sólidos en suspensión. Por regla general, sin embargo, el movimiento de los discos provee suficiente agitación.

Cualquier número de discos puede montarse en una flecha, pero en la práctica el número mayor rara vez excede el número de pies de

diámetro del disco. Por ejemplo, el número máximo de discos montados en un filtro de 8' 6" es de ocho discos.

FILTROS DORCO.- El filtro Dorco, es el tipo de tambor giratorio con la superficie filtrante interior en lugar de exterior. No tiene tanque estando la pulpa contenida en el mismo tambor. El cilindro está hecho de lámina metálica. Un lado está cerrado y lleva un muñón; el otro lado está abierto excepto en un anillo de ancho suficiente para permitir que la tela filtrante sea cubierta por la pulpa a la profundidad necesaria. El muñón está sostenida por una chumacera y el lado abierto del tambor gira sobre rodillos. El promedio de velocidad es de una revolución cada seis minutos por medio de un tornillo sin fin engranado a una corona montada en el muñón, el cual también sostiene la válvula automática de control del mismo tipo a la usada en los otros tipos de filtros Oliver, estando cada compartimiento conectado por un tubo de drenaje a un orificio separado del asiento de la válvula. Una tela metálica está cubriendo los compartimientos y sirviendo de soporte a la tela del filtro, la cual está sujeta a ranuras en el extremo del tambor y a lo largo de las divisiones que separan los compartimientos. Si la tela se deteriora, ésta puede cambiarse sin mucha pérdida de tiempo.

La pulpa se alimenta en la parte abierta del tambor, pero se puede hacer, si se desea, introducirse por un tubo a través del muñón. La formación de la torta es rápida, ya que las partículas pesadas se asientan inmediatamente en la tela del filtro y forman una capa mineral granular que tiende a evitar que las lamas lleguen a los poros de la tela. El ciclo de operaciones es igual al de los otros tipos de filtros y la torta seca se descarga cuando cada compartimento va pasando por el punto más elevado al girar el tambor. No se usa ninguna cuchilla ni rodillo pero la válvula aplica dos o tres golpes de aire a baja presión en lugar de un solo sople; esto es suficiente para hacer que el material caiga a una tolva puesta en el interior del tambor, de donde se descarga por medio de un canal o banda transportadora. Cuando se usa banda, el muñón es hueco para permitir que la polea posterior esté por fuera del tambor de tal manera que sea accesible para inspección y ajuste.

MANEJO DE COLAS.- Como rara vez hay terreno suficiente disponible sobre el cual las colas de una planta de flotación puedan correr a la presa donde los sólidos pueden ser depositados y el agua decantarse para retornarla a la planta. ~~Es~~ aconsejable en general recuperar la mayor cantidad de agua posible de manera no solamente de ahorrar el gasto para obtener más agua fresca, sino también para retornar al circuito de flotación los reactivos que aún quedan en la solución. Suponiendo que sea necesario retornar el agua a la planta, es mejor disponer de la pulpa de las colas en dos pasos, decantando el agua en un espesador cerca de la planta antes de mandarla a la presa de jales, la cual rara vez puede estar cerca y a menudo tiene que estar a distancia considerable. Este método mantiene a un mínimo el costo de bombeo, el cual es el cargo más pesado de la operación.

ESPEADOR PARA COLAS.- En la práctica moderna en gran escala el primer paso de la decantación es generalmente llevada a cabo en tanques espesadores de Tracción, tanto los muros como la columna central son de concreto, siendo el piso de tierra apisonada. Para plantas pequeñas, el espesador Dorr de movimiento central, puede ser más aprovechable que los tanques espesadores de Tracción, a pesar de que no hay donde escoger entre ellos con relación a la eficiencia de operación.

La capacidad de los espesadores para colas depende de la naturaleza y tamaño de la matriz y de la relación de la pulpa. Para cálculos preliminares en ausencia de datos definitivos, es común permitir de 8 a 12 pies cuadrados de área de asentamiento por tonelada de colas secas por 24 horas. La descarga no debe tener mayor cantidad de agua que la suficiente para hacerla correr sin atorarse en la canal o tubería que la lleva a la presa. Esto es posible algunas veces con 50% de sólidos y frecuentemente es necesario una dilución mayor.

5.8 AGUA EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

El término "industria automotriz", comprende la fabricación parcial y total de automóviles, camiones, equipo y maquinaria de construcción, motocicletas, tractores e implementos agrícolas.

Las operaciones se resumen en 4 partes:

- a) Fabricación de motores y partes por fundición
- b) Esmerilado de partes
- c) Troquelado
- d) Ensamble

5.8.1 EL AGUA EN LA FABRICACION DE MOTORES Y PARTES POR FUNDICION.

Los usos del agua, problemáticas y soluciones, son así idénticos a lo expuesto en el capítulo "AGUA EN LA INDUSTRIA DEL ACERO". La diferencia fundamental es que aquí los hornos de fundición no solo son para acero, sino también para aluminio.

El agua es empleada en el enfriamiento del cubilote, gases calientes y canales de escoria, posteriormente se recolecta en un tanque clarificador espesador, se le vuelven a adicionar acondicionadores antioxidantes cada vez que la concentración presente así lo requiera y se recircula.

En la mayor parte de las fundiciones se tienen problemas con el polvo durante la preparación de los moldes de arena, así como en la separación de la arena y la fundición terminada, donde el material es aplastado para regresarlo al cuarto de moldeo. Se puede mezclar una gran variedad de productos químicos con la arena para producir el molde fresco, el cual debe ser curado antes de vaciar metal fundido en él. A veces se usan compuestos fenólicos en la preparación del molde, por lo que puede haber fenol en el agua de desecho de una fundición, proveniente tanto de esta fuente como del coque cargado al cubilote. Se pueden usar aceites en la preparación del molde y estos se volatilizan durante el horneado debiendo ser colectados por un lavador húmedo. Según el tipo de operaciones, puede haber lavadores húmedos individuales en el cubilote, el moldeado de arena y en el cuarto de sacudido, o el agua de desecho de estas áreas puede combinarse antes del tratamiento.

El contenido de aceite es bastante alto. Esto ocurre comúnmente en casos donde el grueso de los sólidos suspendidos consisten en carbón y óxido de hierro, como en las operaciones de fundición. Después del tratamiento de esta agua de desecho en particular, el contenido en aceite se reduce a menos de 50 mg/l, los sólidos suspendidos a cerca de 56 mg/l y el fenol a 0.5 mg/l. Los sólidos colectados son filtrados al vacío antes de su disposición y el contenido de aceite de la torta seca es de alrededor de 15%.

Con frecuencia hay algo de fluoruros presentes en el agua de desecho, los cuales pueden ser introducidos por volatilización en el gas de combustión del cubilote o pueden ser disueltos de la escoria en el tanque de granulación. Puesto que la mayor parte de las fundidoras descargan su agua en un desagüe municipal antes de que se llegue a una corriente, la cantidad de fluoruros no es generalmente tan alta como para requerir un tratamiento especial.

Hay evaporación del agua de lavado, lo que causa su concentración, por lo que usualmente se requiere de tratamiento para el control de incrustaciones y de corrosión en el sistema de recirculación y también se necesitan con frecuencia aleaciones especiales para los circuitos de un lavado de circuito múltiple, donde el pH puede llegar a ser muy bajo.

5.8.2 EL AGUA COMO AUXILIAR EN EL PROCESO DE FABRICACION DE PIEZAS

Las operaciones principales incluyen el maquinado, limpieza y prueba del motor. En vez de tener una sola línea de montaje para la operación de maquinado, se coloca una serie de pequeñas líneas para cada parte y departamento. En cada departamento se realiza una operación particular de maquinado.

El maquinado en los submontajes y cada uno de estos puede requerir de un tipo específico de enfriador de la máquina, que van desde materiales a base de agua hasta aceite sulfurado pesado. Estos enfriadores proporcionan lubricación y enfriamiento tanto al metal como a la herramienta usada para darle forma. Muchos de estos aceites contienen emulsificantes que forman rápidamente emulsiones Ac/Ag cuando se mezclan con el agua.

Los enfriadores de aceite soluble se mantienen por lo general a una concentración de aceite entre 5 y 15% y se almacenan en sumideros centrales. El aceite es recirculado a través de tamices o de filtros hacia la máquina y de regreso al sumidero. En la máquina, el aceite absorbe calor y capta polvo metálico así como aceite hidráulico de las fugas. Periódicamente, en las plantas desechan todo el sistema de enfriamiento, en forma normal, debido a la formación de bacterias o a que la emulsión ya no es estable. Es aconsejable añadir biocidas para controlar la actividad bacteriana, pero ni siquiera esto es capaz de ampliar la vida del enfriador indefinidamente.

En años recientes se han introducido los enfriadores sintéticos y semisintéticos. Los enfriadores sintéticos no contienen aceite, mientras que los semisintéticos contienen algo, aunque en menor cantidad que los enfriadores de aceite soluble. Estos presentan algunas ventajas sobre los aceites solubles en la máquina; sin embargo, se encuentran todavía en la etapa de desarrollo.

Para completar los enfriadores se usa agua municipal o agua clarificada de la planta. Si se encuentran altos niveles de dureza en el agua de reemplazo, el agua blanda es a veces ventajosa -- porque los iones calcio tienden a desestabilizar las emulsiones, sobre todo si el enfriador se concentra. Si se eliminan el calcio y el magnesio, se aumenta la estabilidad de los aceites solubles.

5.8.3 LIMPIEZA DE PIEZAS Y ENSAMBLES

Las partes deben ser limpiadas antes y después del maquinado para remover la mugre. Se usan limpiadores generalmente de los tipos alcalinos y detergentes. Antes se usaban limpiadores aniónicos de fosfatos, pero su uso se ha reducido mucho. Los agentes superficiales no iónicos se han popularizado bastante. El consumo de limpiadores es substancial puesto que los limpiadores se agotan continuamente y se requieren de productos frescos para mantener la fuerza necesaria para un funcionamiento efectivo.

El purgado de los limpiadores de partes comprende aproximadamente el 80% del caudal a la planta de tratamiento. Como una de las funciones principales del limpiador es la de remover el enfria

dor, el purgado contiene en forma usual entre 500 y 4000 mg/l de aceite. Estos desechos son emulsiones estabilizadas por los agentes de superficie en el enfriador y en los limpiadores. Entre otros flujos que van a la planta están los restos de aceite soluble, otros limpiadores como los limpiadores de pisos, el agua de enfriamiento de una gran variedad de fuentes (como los sistemas de acondicionamiento de aire), las purgas de las calderas, el aceite hidráulico de fugas y derrames así como agua de lluvia.

En ocasiones, al cambiar de un aceite soluble a un enfriador sintético se han tenido problemas en la planta de tratamiento de desechos cuando se usaba ácido y alumbre para romper la emulsión. Los rompedores orgánicos de emulsiones se han mostrado más efectivos en la remoción del aceite del efluente con una gran variedad de selecciones de enfriadores. Sin embargo, la reducción de la DBO soluble por el alumbre o por los rompedores orgánicos de emulsiones es, en general, muy limitada. Las cargas de DBO a las plantas de tratamiento pueden, de hecho, incrementarse, puesto que los productos sintéticos tienen usualmente una DBO más alta que los aceites solubles.

Otro factor que pueden tener impacto en la calidad del efluente de la planta de tratamiento es el empleo del limpiador. El uso excesivo de limpiadores, sobre todo de algunos limpiadores fuertes, no iónicos, puede aumentar sus concentraciones en la planta de tratamiento de desechos o incluso hacer que el desecho sea virtualmente intratable. El volumen y tipo de limpiador debe ser balanceado contra el impacto que pueda tener tanto sobre el costo como sobre la calidad de la operación de la planta de tratamiento de desechos.

5.8.4 RECOLECCION DEL EXCESO DE PINTURA PULVERIZADA NO DEPOSITADA A LAS CARROCERIAS.

Las metas del programa de tratamiento de agua son: (1) mantener el circuito de agua libre de depósitos; (2) hacer que el exceso de pintura colectada en el agua no sea pegajosa y que sea fácilmente separable del agua; (3) minimizar los depósitos en la sección trasera para prevenir un flujo obstruccionante de aire cargado de pintura de la cabina; (4) minimizar los contaminantes en el aire descargado al exterior para que no creen un problema de conta

minación del aire, y (5) minimizar el mantenimiento de la cabina.

El transportador que lleva las partes que van a ser pintadas pasa frente a la pared húmeda y el operador pulveriza pintura sobre las partes según van pasando; el exceso de pintura es colectado en la película de agua que fluye por la pared húmeda. El agua debe estar acondicionada para que tanto el pigmento como el vehículo en exceso y el solvente sean anulados y no formen una masa pegajosa que sería difícil de quitar de la charola. El agua es retirada continuamente y recirculada al cabezal del pulverizador, en donde lava la descarga del aire de ventilación antes de regresar a la pared húmeda.

Los operadores trabajan dentro de estas cabinas aplicando pintura a la carrocería. El piso de estas unidades es un emparrillado sostenido sobre un tanque de agua. La pintura que cae se deposita en el agua mientras que otras partículas de pintura son arrastradas por la corriente de aire en la cortina de agua, ya sea en las paredes húmedas o en las cavidades de la pared o sección posterior, donde pulverizadores adicionales lavan la corriente de aire.

El agua tratada correctamente deberá coleccionar el pegamento y los componentes orgánicos de la pintura acondicionándolos para que no sean pegajosos, produciendo un lodo que sea fácil de manejar sin que se pegue a las espátulas o paletas empleadas para removerlo. El material que sea llevado a la sección posterior es separado y -anulado por un lavado con agua adecuadamente tratada para que no se formen depósitos dentro de esta cavidad que es relativamente pequeña. Si el agua no es tratada en forma adecuada, las partículas que penetren la cortina de agua formarán depósitos en las secciones posteriores y saldrán por la chimenea como emisiones de partículas. Además el problema de contaminación atmosférica requiere de mucho mantenimiento para quitar los depósitos, tanto en las secciones posteriores como en los eliminadores, en las aspas del ventilador y en el tanque que está bajo el emparrillado, de modo que la cabina puede seguir operando en forma segura para el operador y que se tenga una descarga limpia a la atmósfera.

Las cabinas de pintura por la pulverización son en cierto sentido como un lavador de aire, ya que el agua de pulverización puede evaporarse y causar la concentración de los sólidos disueltos, o -

bien el agua puede condensarse del aire pudiendo haber una continua dilución del agua de pulverización. Esto quiere decir que deben verificarse de manera periódica los valores de sólidos disueltos totales, pH y alcalinidad a fin de mantener el sistema bien controlado.

Los volúmenes de agua de circulación en lavadores de este tipo son altos, del orden de 10,000 gal/min para una cabina típica de carrocerías, y de 500 a 1000 gal/min para una cabina de partes. El tiempo de retención del agua en el sistema es relativamente bajo, quizá sólo 2 o 3 minutos. El tanque es vaciado por lo general al final de cada turno. Es difícil estimar los requerimientos reales de agua de reemplazo porque dependen de la rapidez de evaporación, así como de la frecuencia del vaciado; ambos hechos son únicos para cada instalación.

La pintura es cada vez más importante en las plantas de fabricación de productos metálicos según aumentan los esfuerzos por detener la corrosión de las carrocerías. Pintura de primera mano ricas en zinc son pulverizadas en los interiores de las puertas, salpicaderas y otras áreas, que quedan encerradas después del ensamblado para mejorar la protección contra la corrosión. Esta operación se lleva a cabo en el mismo tipo de cabina de pulverización descrita antes.

5.8.5 EL AGUA EN EL ENSAMBLE Y ELECTRODEPOSITACION

En la planta de ensamble, la lámina de metal es soldada al bastidor y a la charola de piso para construir la coraza del coche. Durante la operación de soldado, las puntas del soldador son enfriados con agua de recirculación. El problema más común en este sistema cerrado de enfriamiento es el ensuciamiento y taponamiento de las puntas con productos de corrosión. Si el flujo de agua se reduce por este taponamiento, las puntas se pueden fundir causándose el paro de la línea de ensamblado. La filtración y el tratamiento con productos de aceite soluble, así como con inhibidores convencionales de corrosión, minimizan esta corrosión y el taponamiento.

En la etapa de bonderizado, se aplica una capa de fosfato metálico, como el fosfato de zinc, a las superficies metálicas, para protegerlas contra la corrosión y tener una superficie adecuada pa-

ra el acabado de pintura. Después del bonderizado, en muchas plantas se usa un proceso para depositar electrostáticamente una primera capa de pintura en la superficie metálica sumergiendo el metal cargado eléctricamente en una tina de pintura con base agua. Las partículas de pintura cargadas con carga opuesta son atraídas uniformemente hacia la superficie metálica. El agua de reemplazo para este sistema es desmineralizada para que la conductibilidad del baño pueda ser controlada.

En este proceso, el baño tiende a calentarse. La pintura es enfriada abajo de 90°F (32°C) por medio de un cambiador de calor, ya sea con un enfriador o con un sistema de torre de enfriamiento de recirculación abierta.

Periódicamente, el agua de enjuague concentrada del recubrimiento electrostático se envía a la planta de tratamiento. Estos desechos pueden causar perturbaciones en la planta al introducir desechos difíciles de tratar. Si el pH de la pintura es disminuido por debajo de 4.0, se forman bolas de goma que tapan las líneas y las bombas.

Hay otros dos usos específicos para el agua en la planta de ensamblado: (1) El coche ensamblado se pasa a través de un rociador para probar filtraciones. Se pone colorante fluorescente en el agua para que una luz negra revele claramente las filtraciones. También se añaden agentes humectantes para hacer más severa la prueba y para prevenir manchas de agua. (2) El proceso final es una operación típica de lavado del coche. Se añaden varios jabones para ayudar a limpiarlo.

Los desechos de las plantas de ensamblado suelen estar bastante diluïdos. Los contaminantes típicos son: sólidos de la pintura, aceite, DBO, sólidos suspendidos, zinc, cromo y fosfatos. Los coagulantes y los rompedores de emulsiones Ac/Ag funcionan bien en estas aguas. El agua proviene de las cabinas de pulverización, de los tanques de descostrado, del fosfatado, del lijado en húmedo, del lavado de coches, del enfriamiento, de la prueba de filtraciones y del lavado de diversas partes. Los caudales típicos fluctúan entre 500 000 y 1 000 000 gal/día.

5.8.6 EL AGUA EN EL TROQUELADO

La parte troquelada es recortada finamente hasta alcanzar el tamaño exacto; y tanto el aceite de troquelado como el de cortado y la mugre son removidos en un lavador de partes lo que crea un agua aceitosa de desecho. La parte puede entonces ser soldada o aprestada para pintarse, según las necesidades de manufactura. La parte está entonces lista para su envío a la planta de ensamble. Los productos terminados de las plantas de troquelado y fabricación incluyen puertas, charolas para pisos, cajuelas cofres y salpicaderas.

Los flujos del troquelado y la fabricación son bastante bajos por lo general (50 000 gal/día) y consisten en desechos aceitosos de los lavadores de partes, del purgado de agua de enfriamiento y del purgado de las cabinas de pulverización. El agua de desecho contiene de 100 a 500 mg/l de aceite y puede ser tratada en forma efectiva con rompedores de emulsiones Ac/Ag. Ocasionalmente, los aceites de lavado, hidráulico y de troquelado son tirados a la planta de desechos, pero en la mayor parte de las plantas se trata de separar estos aceites relativamente limpios del agua de desecho para su recuperación o su venta.

5.8.7 AGUA EN EL CROMADO Y NIQUELADO

En los lugares donde el cromado o el niquelado es una operación importante las plantas de tratamiento de desechos se diseñan para separar metales pesados. Comúnmente se usan los tratamientos tradicionales de reducción y ajuste del pH para separar el metal como hidróxido. También puede necesitarse destruir el cianuro.

Económicamente puede justificarse la recuperación del metal pesado, lo que se hace con frecuencia por una operación de intercambio iónico. El níquel se recupera fácilmente de los tanques de enjuague que siguen al niquelado, con resinas catiónicas bajo forma H, regresando el regenerante rico en Ni al tanque de niquelado. El cromado es también recuperable, pero no en una forma que sea útil en la operación de cromado.

Las partes que van a tratar requieren de una limpieza y un enjuague cuidadoso, ambos con agua blanda, por lo general, para evitar manchas. Los baños de tratamiento son controlados con precisión.

ción y pueden requerir de agua desmineralizada para el reemplazo.

5.9 EL AGUA EN LA INDUSTRIA DEL COQUE

Una materia prima esencial para los altos hornos, así como para las fundiciones de hierro, es el coque, el cual se produce a partir de carbón.

El coque para alto horno es fabricado a partir de mezclas de carbones de alta y de baja volatilidad. La mezcla es molida, cargada en un horno y calentada durante 18 horas aproximadamente a más o menos 1800-2000°F (980-1100°C) para eliminar la humedad y la materia volátil. Al terminar el período de coquizado, el coque incandescente es empujado desde el horno hacia los carros receptores, enfriando con agua y enviado al alto horno o a otros usos industriales.

Al finalizar el coquizado, el horno es aislado del tubo del gas y el coque incandescente es empujado hacia unos carros para ser llevado rápidamente a la torre de enfriamiento. Aquí el agua de enfriamiento rocía el coque para enfriarlo y evitar mayores pérdidas de combustión.

El gas se enfría primero por rociado con licor débil de amoníaco. Después, dentro de un circuito secundario, el licor débil de amoníaco se enfría, ya sea mediante cambiadores de calor o mediante un sistema abierto de recirculación que incluya una torre de enfriamiento. Como el rocío enfriador condensa la humedad que originalmente está en el carbón, hay un aumento en el volumen del licor débil de amoníaco.

Después del enfriamiento, el amoníaco es separado del gas del horno de coque lavando con una solución recirculante de ácido sulfúrico. Este licor se envía a los cristalizadores para producir sulfato de amonio. El gas se envía después a un enfriador final donde se pone en contacto con agua de enfriamiento para reducir su temperatura hasta menos de 68°F (20°C), de modo que el agua de lavado recupere el naftaleno del gas.

Finalmente, se manda el gas a un lavador para reducir su azufre en forma que se cumpla con las normas de emisión al aire cuando sea usado como combustible.

Se necesita una cantidad apreciable de agua en la planta de coque, sobre todo para el enfriamiento del gas, aproximadamente del orden de 1000 a 2000 gal/ton de producto ($4-8 \text{ m}^3/\text{ton}$). Además de usarla en el enfriamiento del gas, el agua se usa en el enfriamiento del coque y de los dispositivos auxiliares en los servicios, tales como las compresoras de aire y los casquillos de los prensaestopas de las bombas.

Como en muchas plantas de procesamiento de hidrocarburos, el agua de proceso se contamina no solo con aceite sino con amoníaco, fenol, cianuros y tiocianatos. Las mayores fuentes de agua de desecho son (a) el licor débil de amoníaco de los enfriadores primarios, (b) la purga de las torres de enfriamiento usadas ya sea directa o indirectamente para el enfriamiento de gases, (c) el condensado contaminado de la destilación de vapor de algunas de las fracciones de hidrocarburos, (d) la toma del agua del tanque de almacenamiento y (e) el agua de lluvia. Entre los desechos fuertes que se pueden separar para su disposición individual están los ácidos y los cáusticos usados en el procesamiento de aceite ligero, la solución gastada de carbonato de sodio de la torre de remoción de azufre y los licores en exceso del proceso de recuperación del sulfato de amonio.

El licor débil de amoníaco puede ser separado para tratarlo individualmente mediante un proceso biológico, método que ha demostrado su efectividad para reducir tanto el fenol como el cianuro.

Debido a las necesidades relativamente altas de agua de enfriamiento, de alrededor de 150-200 gal/ton de coque ($0.6-0.8 \text{ m}^3/\text{ton}$), en general se aprovecha este uso para la disposición de los desechos más fuertes, tales como el licor débil de amoníaco en exceso, mismo que de otro modo sería difícil de procesar hasta alcanzar un nivel aceptable para su descarga final en una corriente receptora.

En una planta de coque, los problemas de contaminación, del agua, son grandes.

5.10 ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA SISTEMAS DE RECIRCULACION

La protección contra corrosión e incrustaciones sobre los metales en sistemas de recirculación de agua dulce es un problema de enorme importancia económica. Muchas medidas correctivas han sido parcial o totalmente exitosas.

5.10.1 INCRUSTACION CONTROLADA DE CARBONATO DE CALCIO

Se desarrolla un recubrimiento protector en forma de incrustación de carbonato de calcio a base de regular y ajustar el pH, alcalinidad y iones de calcio para mantener una solución de carbonato de calcio ligeramente sobresaturada. Mediante este control, se puede depositar una capa fina, impermeable y adherente sobre las superficies que requieren protección. El carbonato de calcio es un inhibidor general que cubre tanto el área anódica como la catódica porque su precipitación no depende de los productos de reacciones electroquímicas, aunque una película alcalina sobre las superficies catódicas es un factor adicional que favorece la precipitación de carbonato de calcio.

La creación y velocidad de formación de ese tipo de recubrimiento protector está influido por un número de factores. Cualquier condición química del agua que tienda a aumentar la solubilidad de los iones de calcio, o a prevenir la deposición de un depósito cristalino, o prevendrá la formación de recubrimiento deseado.

Existe un número reducido de abastecimientos naturales de agua en los que el carbonato de calcio existe en estado de equilibrio. Para tales aguas, se requiere un tratamiento reducido o nulo, ya que éstos tienden a precipitar un recubrimiento protector delgado y uniforme. Las aguas de muchos lagos, son de este tipo y también, por lo tanto, relativamente no corrosivas o pueden llegar a serlo con ajustes menores de su pH. Desafortunadamente, la mayor parte de los abastecimientos no es tan rápida y fácilmente controlada y se requiere un reajuste de la dureza o alcalinidad del agua para desarrollar y controlar la deposición de incrustación. El éxito del tratamiento depende en mucho de la eficacia en el control y del mantenimiento de condiciones específicas favorables para la formación de un recubrimiento satisfac

torio sobre las superficies metálicas.

La investigación ha estimulado la ampliación del uso de la incrustación de carbonato de calcio para el control de incrustación de carbonato de calcio para prevenir la corrosión y para el control de incrustación excesiva.

Es necesario entender este índice de saturación para acondicionar el agua inteligentemente con objeto de producir una incrustación protectora de carbonato de calcio.

5.10.2 USO DEL INDICE DE LANGELIER PARA LA SATURACION DEL CARBONATO DE CALCIO

La materia mineral disuelta en la mayor parte de los abastecimientos de agua, consiste principalmente de calcio o magnesio en forma de dureza de bicarbonato y dureza de no carbonatos, principalmente cloruros y sulfatos. Se encuentran usualmente presentes sales de sodio, bióxido de carbono disuelto, oxígeno, y otros gases. La tendencia de un abastecimiento de agua, para depositar incrustaciones cuando se calienta o se hace más alcalina o de atacar a los metales, depende del balance entre los varios constituyentes. Al controlarlos con un tratamiento correctivo, tanto la incrustación como la corrosión, pueden reducirse al mínimo.

El aumento de temperatura acelera las velocidades de ambos de estos procesos.

La incrustación que se forma bajo condiciones moderadas de temperatura es debida a que la dureza de bicarbonato se convierte por calentamiento en carbonato de calcio normal, o se afecta por un aumento de alcalinidad suficiente para causar sobresaturación con respecto al carbonato de calcio. Las relaciones de solubilidad del carbonato de calcio disminuyen al mínimo el ataque corrosivo. Exactamente en condiciones de equilibrio, las diversas formas de bióxido de carbono (bióxido de carbono libre, bicarbonatos y carbonatos) están balanceados en tal forma que no causan incrustaciones ni corrosión.

Un método conveniente de interpretación un análisis de agua para este propósito utiliza expresiones logarítmicas de la dureza de calcio, la alcalinidad al anaranjado de metilo, un factor para la temperatura y los sólidos totales.

El pH de saturación (pH_s) y el índice de saturación (I_s) pueden calcularse cuando se conocen los valores de la dureza de calcio, alcalinidad y sólidos totales.

Las características incrustantes o no incrustantes del agua -- pueden ser predeterminadas a partir de la familia de curvas.

$$\text{pH}_s = \text{pCa} + \text{p Alk} + \text{C}$$

en la que es el pH es el PHS de saturación.

pCa es un factor logarítmico de la dureza del calcio, expresado en ppm de CaCO₃.

pAlk es el factor logarítmico de la alcalinidad M, expresado en ppm de Ca CO₃.

C es el factor logarítmico de los sólidos en ppm a la temperatura del agua.

El índice de saturación es la diferencia entre el pH actual y el pH calculado de saturación, es decir.

$$I_s = \text{pH (actual)} - \text{pH}_s \text{ (calculado)}$$

Cuando I_s es cero, es decir, cuando pH es igual a pH_s existe un equilibrio de saturación y no hay formación de incrustación y el ataque corrosivo se disminuye al mínimo.

Cuando I_s es positiva, es decir, cuando pH es mayor que pH_s, existe una condición de sobresaturación de carbonato de calcio con respecto a la alcalinidad y a los sólidos totales a las condiciones existentes de temperatura, habiendo tendencia para depositar incrustación sobre la superficie de transmisión de calor.

Cuando I_s es negativo, es decir, cuando pH es menor que pH_s el equilibrio está desbalanceado en dirección opuesta, y ocurrirá corrosión del metal descubierta y se disolverá cualquier incrustación previamente formada.

Con objeto de inhibir la corrosión, es necesario mantener un índice de saturación ligeramente positivo, suficientemente alto para asegurar en forma definitiva la deposición de incrustación. El valor deseado de I_s puede variar de + 0.6 a + 1.0 o mayor dependiendo de la presencia de sustancias inhibidoras.

Tal tratamiento requiere un control analítico cuidadoso y que requiere el ajuste con ácido o álcali para mantener el balance. Los abastecimientos de agua cuya composición varía ampliamente no son muy adecuados asimismo, el agua cuya temperatura varía dentro de un amplio intervalo, es difícil de controlar para asegurar una in-

crustación uniforme a lo largo de todo el sistema. Este tipo de tratamiento se adapta mejor para el agua relativamente uniforme en composición cuya temperatura a lo largo del ciclo de circulación no varíe ampliamente. Sin embargo, mediante un control apropiado y cuando se ha adoptado el conjunto de condiciones adecuadas al tratamiento, ha demostrado ser satisfactorio y más económico que otras formas de control.

5.10.3 PRUEBA MODIFICADA DE MARMOL PARA DETERMINACION DEL INDICE DE SATURACION

Cuando se encuentran inhibidores presentes en el agua, el índice de Langelier calculado indica un valor incrustante mayor que el que en realidad se tiene. Para tales casos, es recomendable utilizar el método de la prueba de mármol para determinar el índice de saturación. El siguiente método puede emplearse para determinar el índice de saturación directamente, requiriéndose únicamente la prueba de pH.

La teoría de este método es que, si un agua que no está en equilibrio se pone en contacto con carbonato de calcio, el agua alcanzará el equilibrio. Si se encuentra por debajo de la saturación, con respecto al carbonato de calcio, que es lo mismo que tener un índice negativo de saturación, el agua disolverá suficiente calcio para saturar la solución, haciendo el índice de saturación cero. Si el agua se encuentra sobresaturada, lo que es lo mismo que si tuviese un índice positivo de saturación, se precipitará el exceso de carbonato de calcio, haciendo que el índice de saturación sea cero.

5.10.4 VARIABLES QUE IMPIDEN LA FORMACION DE INCRUSTACIONES.

Es conveniente discutir esto en detalle, y es también importante considerar una objeción que ha sido propuesta a la técnica de la incrustación controlada, es decir, la pérdida en la transmisión de calor debida a la incrustación, particularmente en los pasos más calientes de los condensadores y enfriadores. Las observaciones hechas han dado por resultado conclusiones sobre la formación satisfactoria de incrustación y la eliminación de productos de corrosión intensa que pueden obtenerse únicamente mediante el control -

de una serie de condiciones. Los factores más importantes para obtener una buena incrustación de inhibición son:

1. Los inhibidores orgánicos que dispersan al calcio, retardan la precipitación y previenen la formación de incrustación cristalina.
2. Una alcalinidad de sodio alta y otros sólidos que tiendan a aumentar la solubilidad de los iones de calcio.
3. Aceite sobre las superficies metálicas.
4. Algas y limos.
5. Exceso de fosfatos.

Existen pasos definidos que pueden seguirse para controlar estos factores inhibidores, por ejemplo, con una alcalinidad de sodio elevada, úsese cal en lugar de sosa cáustica o carbonato de sodio para ajustar el contenido de alcalinidad del agua con objeto de elevar el índice de saturación. En algunos casos, en donde parte del agua de repuesto ha sido suavizada, se hace pasar agua cruda en derivación para ajustar el contenido. El coeficiente de temperatura de la incrustación puede ser objetablemente alto cuando se emplean cáusticos para ajustar el índice de saturación, y los depósitos tienden a ser porosos y voluminosos. Además, puede lograrse un manejo de la "fuerza incrustante" o "fuerza desincrustante" del agua con un pequeño ajuste en la composición cuando se hace variar el calcio y la alcalinidad de sodio.

Gran parte de la pérdida de transmisión de calor que se ha atribuido a la incrustación se ha debido en ocasiones a limos orgánicos, que tienen un poder aislante del calor aún mayor que el de la incrustación. El control de algas por cloración, por otros medios, es imperativo para un control satisfactorio de incrustación de carbonato de calcio en las plantas localizadas en áreas en las que son prolíficos los crecimientos de algas en las aguas circulantes.

Es preferible depositar la incrustación rápidamente antes de que ocurra corrosión. Después de que el equipo se ha limpiado, especialmente si se ha usado ácido, el metal tiende a corroerse a gran velocidad. Un índice de incrustación alto establecido inmediatamente prevendrá el ataque inicial.

Cuando las temperaturas de operación y otras condiciones ha-

cen difícil incrustar el equipo, es deseable el calentamiento del agua circulante con vapor o con agua caliente, hasta que se obtiene una buena deposición de incrustación protectora.

5.10.5 RECUBRIMIENTOS PROTECTORES OPTIMOS GENERADAS POR INCRUSTACION.

La incrustación ideal para proporcionar la mejor protección con el mínimo de aumento en la pérdida de transmisión de calor, es un depósito delgado firmemente adherente y cristalino que puede escasamente verse. De hecho, algunos de los mejores depósitos de protección no pueden ser fácilmente observados cuando se encuentran húmedos y solamente se descubren cuando se aplica una gota de ácido clorhídrico, revelando la existencia de carbonato por la efervescencia de bióxido de carbono.

5.10.6 INCRUSTACION Y TEMPERATURA

La crítica más frecuente que se ha hecho sobre el uso de la incrustación controlada es el hecho de que la deposición es demasiado gruesa en las superficies calientes y no suficientemente gruesa sobre las superficies frías. Sin embargo, cuando el control de la incrustación ha sido adecuadamente regulado, entonces ocurre una condición intermedia de uniformidad aceptable en el espesor de la incrustación sobre todo el intervalo de temperatura dentro del sistema, siempre que la variación no sea demasiado extensa.

5.10.7 ACONDICIONAMIENTO A TRAVES DE METAFOSFATOS

El tratamiento del agua con concentraciones de metafosfato suficientemente bajas para combinarse con todo el calcio presente, ha sido utilizado con éxito para prevenir los depósitos de incrustación y, más recientemente, para mantener el hierro en solución y prevenir corrosiones. Un número importante de sistemas municipales de agua aplican con éxito este tratamiento para prevenir el "agua roja". Una película, perceptible, de metafosfato de hierro se deposita sobre la superficie del metal.

Quando se aplica apropiadamente este tipo de tratamiento, tiene un éxito considerable en los sistemas principales de circula-

ción en torres de enfriamiento. El tratamiento funciona mejor a un pH por debajo de 7.0, la falla en cumplir este requisito de bajo pH ha contribuido al fracaso de esta forma del tratamiento en algunos casos.

Los metafosfatos tienen un costo intermedio entre los cromatos inorgánicos y orgánicos y las sales alcalinas usualmente requeridas para controlar el tratamiento de incrustación de carbonato. En muchos casos pueden justificarse si se usan en sistemas cerrados que no presentan pérdidas excesivas de agua.

5.10.8 ACONDICIONAMIENTO A TRAVES DE CROMATOS

Los cromatos y bicromatos han sido usados durante varios años para inhibir la corrosión, particularmente como aditivos a la salmuera de refrigeración. Los iones de cromato o de bicromato reaccionan con los iones ferrosos que se desprenden de las áreas anódicas, formando una mezcla de hidróxidos férricos y crómico como una película fuerte adherente que se une por sí misma sobre las áreas anódicas.

El consumo de cromato es directamente proporcional a la velocidad de desprendimiento de los iones ferrosos, es decir, a la velocidad de corrosión. Por lo tanto, cuando la concentración se mantiene suficientemente alta para proporcionar un recubrimiento completo de las áreas anódicas; el consumo de cromato por la reacción de inhibición puede ser cero y la única pérdida será la debida al arraste por el viento o a las purgas. A menos que las pérdidas del sistema sean altas, es preferible mantener concentraciones de cromato por una magnitud que asegure una protección completa, lo cual puede requerir de 300 a 500 ppm. Se ha asegurado una protección regularmente buena, con dosis inferiores de cromato mediante la adición de pequeñas dosis de metafosfato en combinación con el cromato.

Conforme aumenta la velocidad de corrosión a causa de mayores temperaturas y mayores concentraciones de electrolito (notablemente cloruros), aumenta también la concentración necesaria de cromatos para mantener una película protectora. Han ocurrido fallas en la prevención de corrosión por el uso de cromato a causa de que las concentraciones han sido insuficientes para contrarrestar las con

diciones encontradas en los sistemas de enfriamiento.

5.10.8.1 SELECCION DE CROMATOS

La selección del tipo de cromato que se va a usar depende del costo, dado que los mono y dicromatos sirven ambos para inhibir el ataque agresivo. Se asegura una protección efectiva dentro de un amplio intervalo de pH, que varía entre 7.5 y 9.5. Cuando se trata agua circulante es preferible mantener un índice de cero o negativo para evitar la formación de incrustación. No es necesaria una incrustación, dado que la película de cromato sirve como una barrera física y previene el contacto entre el agua y el metal.

En ocasiones en las que la alcalinidad del agua puede ser muy alta, y el tratamiento puede requerir una reducción del pH de la solución hasta los límites del intervalo deseado.

En algunas ocasiones es deseable substituir el ácido crómico (CrO_3) por parte del bicromato. Esto es preferible al ajuste con ácido clorhídrico porque el ácido crómico, en sí mismo, es un inhibidor. Un kilo de ácido crómico neutralizará un exceso de alcalinidad equivalente a 0.8 Kilos de NaOH, mientras que un kilo de bicromato de sodio neutralizará solamente 0.27 kilos NaOH. Cuando se ha neutralizado, se requiere 0.671 kilos de ácido crómico para obtener un valor equivalente en propiedades inhibitoras de corrosión a un kilo de bicromato de sodio. Similarmente las cantidades equivalentes de las sales potásicas son 0.987 kilos $\text{K}_2(\text{Cr}_2)_7$ ó 1.303 Kg de $\text{K}_2\text{C rO}_4$, con un valor igual en propiedades inhibitoras de corrosión a un kilo de bicromato de sodio. Todos estos compuestos se suministran comúnmente en la forma anhidra, con excepción de bicromato de sodio que es un dihidrato.

5.10.8.2 GLUCONATO TETRACROMICO

Un número de compuestos que contienen cromato, compuestos orgánicos, álcalis o los tres juntos, han sido empleados en el tratamiento de agua. Uno de ellos es el gluconato tetracrómico. Este material es un compuesto orgánico complejo que incorpora la estructura de la glucosa combinada con cuatro grupos cromatos. Se afirma que el ligamento con la materia orgánica hace que la película sea elástica y de área mucho mayor por unidad de cromato. Las concentraciones recomendadas para inhibición son aproximadamente

de un décimo del valor requerido cuando se emplean sales sódicas de cromo.

Una de las principales desventajas del gluconato tetracrómico ha sido su costo relativamente alto.

Solamente cuando un sistema puede ser convenientemente cerrado y las pérdidas se reducen a una cantidad muy pequeña, puede este tratamiento justificarse económicamente. En tales condiciones, si las concentraciones son suficientemente altas para mantener una película bajo las temperaturas y concentración de sales existentes, el tratamiento es muy efectivo para inhibir la corrosión.

5.10.9 COMPUESTOS FORMADOS POR COMBINACION DE INHIBIDORES

Durante varios años, los fabricantes comerciales de productos para tratamiento de agua han utilizado una combinación de productos que forman películas. El sistema doble más usado hasta la fecha ha sido el de los metafosfatos y cromatos inorgánicos. Se ha establecido que los metafosfatos son más efectivos, en muchos casos a un valor de pH aproximadamente de 6.0. Se han empleado varias combinaciones de fosfatos y cromatos dentro de diferentes intervalos de pH. De acuerdo con los datos, este tratamiento fue más efectivo a un pH de 6.0. Cada inhibidor sólo es efectivo, pero que el tratamiento combinado proporciona un conjunto de inhibidores que efectúa una protección benéfica de hierro y aleaciones de cobre a concentraciones de los productos respectivos mucho menor que la de cualquiera de ellos empleado como inhibidor solo.

5.10.10 VARIABLES QUE AFECTAN A LAS PELICULAS PROTECTORAS.

Experiencias con película protectora indica varios factores que requieren atención:

1. Las unidades con altas temperaturas de operación deberán ser vigiladas, especialmente si se emplean cromatos (inorgánicos u orgánicos). La protección puede fallar en las secciones más calientes de un intercambiador tubular. Las inspecciones de los cabezales de tubos, de los cambiadores, y de los extremos de los tubos que indican buena protección no pueden dar una imagen real de la condición de los tubos sometidos a temperaturas más altas.

2. La velocidad a la que tiene lugar la corrosión por picadu

ra en los lugares donde se rompe la película, es extremadamente rápida. La corrosión por oxígeno es más activa en estos puntos que sobre una superficie no protegida, debido a la formación de celdas de concentración. Otra es que la velocidad total de corrosión no se ha reducido y se ha concentrado en la pequeña área expuesta.

3. La formación de la película protectora está muy influida por el valor de pH. Generalmente, las películas de fosfato son más efectivas a valores bajos de pH (alrededor de 6.0), y los cromatos orgánicos son más efectivos a un pH de 7.0 o mayor. Bajo condiciones de pH alto arriba de 8.5, se ha encontrado que la alta temperatura (aproximadamente 49° C), da por resultado la formación de lodos, que se depositan sobre las superficies de los tubos y previamente la renovación de la película.

4. Antes de iniciar el tratamiento deberá darse una razonable atención a la limpieza del sistema y a la remoción de lodo, astillas de madera y partículas de papel que se hayan acumulado durante el período de construcción. La presencia de esta materia extraña ocasionará una protección incompleta de la película, ya sea por obstrucción de algunas partes de las superficies de los tubos, o por causar velocidades extremadamente altas en ciertas secciones del cambiador de calor, previniendo en esta forma la renovación de la película tan rápidamente como desaparece.

5. La efectividad de los tratamientos protectores del tipo de películas depende de la renovación continua de la película sobre las superficies expuestas que están barridas continuamente por el agua, introduciendo, por tanto, la consideración del factor velocidad. Debido a que estas películas deben ser renovadas continuamente, es imperativo que las concentraciones de productos protectores sean mantenidas sin interrupción.

6. Las superficies sobre las que se van a emplear películas protectoras como recubrimiento deberán encontrarse limpias y libres de corrosión antes de iniciarse el proceso, ya que en otra forma las celdas de corrosión ya establecidas presentan mayor tendencia a ser aceleradas que retardadas.

5.10.11 EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LOS CROMATOS

Con las precauciones razonables, los cromatos pueden usarse -

sin riesgos para las personas que los manejan. Sin embargo, el uso de este producto seco o en solución, puede producir enfermedades de la piel (dermatitis y graves irritaciones nasales y de los ojos. Las personas que manejan estos productos, deberán ser advertidas para evitar cualquier contacto con el material y la piel, y deberán tomarse precauciones especiales para prevenir la respiración de los productos secos o la introducción de sus soluciones a los ojos. Estas precauciones deberán tenerlas aquellos que manejan los productos; y también tomarse precauciones para prevenir al personal de ser salpicado por agua que contenga cromatos, como la del vapor y espumas que forman parte de torres de enfriamiento en las que el agua circulante es tratada con estos productos.

El contenido de cromatos con la piel que tiene cortaduras o abrasiones causa "irritación del cromo", una especie de ulceración de la piel. Tal enfermedad de la piel es difícil de curar y las úlceras abiertas tienen tendencias a reinfectarse.

Todas las personas que manejan estos productos deben estar dotadas de guantes de hule, lentes e inhaladores. También deberán instalarse regaderas adecuadas para ojos; próximas al punto donde se manejan las soluciones.

La penetración accidental de bicarbonato en los ojos deberá ser tratada lo más rápidamente posible lavando el ojo copiosamente con agua limpia cuando menos durante cinco minutos y posteriormente deberá consultarse sin demora un médico. La falta de un lavado rápido con agua puede aumentar considerablemente el grado de irritación.

Bajo ninguna circunstancia deberá permitirse que los bicromatos penetren en la nariz. La posibilidad de irritación en la mucosa nasal es máxima en donde el bicromato se encuentra en suspensión en el aire y podrá ocurrir una perforación de la mucosa si no se toman medidas de precaución.

Los cromatos arrastrados en agua aspersada mancharán las estructuras pintadas y son particularmente perjudiciales cuando entran en contacto con automóviles, ya que dejan manchas de color café amarillento sobre la pintura.

Las precauciones razonables en el manejo y preparación de las

aguas tratadas con cromo prevendrán los riesgos anteriores de los cuales deberán estar advertidos los operadores. Estas dificultades ocurren no sólo con sales individuales de cromo, sino también con sales de cromo combinadas con material orgánico.

5.10.12 CONTAMINACION POR CROMATOS

La manera como se elimina el agua de purga de torres de enfriamiento, deberá considerarse cuando se controla la corrosión con cromatos. Tal eliminación presenta un problema si estas aguas van a descargarse sobre aguas superficiales usadas para fines potables. Deberá tenerse cuidado para eliminar la contaminación de aguas de pozo o por introducción de cromatos al manto acuífero que abastece a los pozos.

5.10.13 PROTECCION CON ACEITE

Es bien conocido que ocurre poca corrosión en sistemas de condensado en los que el vapor contiene aceite. En tal sistema, se produce una película de aceite sobre las superficies metálicas que sirve como barrera física y previene el ataque corrosivo del agua.

Si el condensado no va a usarse nuevamente o si se trata para removerle el aceite, puede obtenerse una protección excelente de las líneas de condensado por la aspersión de aceite con el vapor de escape. Una objeción a este tipo de tratamiento es que, cuando el agua va a recircularse a través de torres, la madera podrá llegar a saturarse con aceite, creándose un riesgo de incendio cuando las torres se sacan de servicio por un tiempo apreciable, en sistemas en donde las torres no se usan, pueden justificarse la adición de aceite y otras sustancias que forman película siempre que el aceite en el agua no sea objetable en el proceso o en las partes del sistema en donde entre en contacto directo con el producto.

5.10.14 SUBSTANCIAS HUMECTANTES

Se ha encontrado que los agentes humectantes son efectivos cuando se emplean en conjunto con inhibidores de corrosión. Tales

agentes hacen posible efectuar una penetración en la incrustación, productos de corrosión y otros materiales que se han formado sobre las superficies metálicas y que normalmente previenen el contacto entre el inhibidor disuelto y el metal. Se han empleado con mayor éxito en donde es prácticamente imposible limpiar el sistema. En general, el uso de agentes humectantes no representa un gasto apreciable, especialmente en sistemas de recirculación en los que se tratan pequeñas cantidades de agua. Los gastos están limitados a las pérdidas debidas a la purga y al arrastre por el viento. Sólo requieren unas cuantas partes por millón para penetrar la incrustación, corrosión y otros depósitos.

5.10.15 DESAERACION AL VACIO

Las aguas recirculadas por torres de enfriamiento, o en tanques con espumas, son generalmente corrosivas a los metales ferrosos y no ferrosos debido a la reaeración constante, que da por resultado un alto grado de saturación de oxígeno. En donde la composición del agua es capaz de depositar incrustación, la presencia de oxígeno no causa problemas, pero en donde el agua reaerada está en contacto con metal descubierto, ocurre una rápida corrosión. La velocidad a la que se desarrolla el ataque depende del tipo de metal, la temperatura, el valor de pH del abastecimiento y de otros factores. Si las condiciones son tales que excluyen el acondicionamiento de agua para depositar una incrustación controlada o para formar películas mediante cromatos, fosfatos, aceite y otros productos similares, la desaeración del agua recirculada a menudo ofrece medios para inhibir el ataque corrosivo. Cuando se emplean tales sistemas, el agua recirculada, después de pasar por las torres de enfriamiento o estanques, se desaera por vacío. Tales sistemas son capaces de disminuir grandemente el ataque corrosivo del agua que está en contacto con superficies metálicas a lo largo de todo el sistema. El agua de enfriamiento aerada, después de enfriarse mediante espumas o en una torre, se bombea o se aspira a una cámara de vacío y, manteniendo un vacío de 25 a 28 pulgs. Hg (636 a 712 mm Hg) o mayor, los gases no condensables son removidos en alto grado.

5.10.1b TECNICAS DE EVALUACION

Ya que la deposición de recubrimientos protectores depende del mantenimiento de los constituyentes en el agua dentro de los límites especificados, estas medidas de protección pueden ser controladas adecuadamente sólo mediante las pruebas rutinarias del agua y de los ajustes en el tratamiento.

Es a menudo conveniente contar con algunos medios para comprobar la tendencia incrustante o corrosiva del agua de enfriamiento en varios puntos de la planta. Esto puede hacerse en forma conveniente causando pequeñas unidades de prueba.

La unidad de prueba consta de un cuerpo externo hecho de tubo de 2", una cámara interior la cual es la superficie de prueba para la inspección, hecha de tubo de 3/4" y consistente en un número de niples de longitud conveniente. Dentro de la cámara interna existe una salida de condensado de tubo de 1/4 de pulgada. El agua para enfriamiento entra al fondo del cuerpo interno y se descarga cerca de su extremo superior. El vapor para calentamiento entra por la parte superior y fluye hacia abajo del interior de la cámara interna, el condensado se recupera o se descarga al drenaje, como lo permitan las condiciones de la planta.

La unidad de prueba está construida para permitir ser desarmada para la inspección de la superficie de la cámara interna después de haber transcurrido el tiempo deseado de la prueba.

La operación de prueba consiste en un período de operación durante el cual el flujo de agua de enfriamiento a la unidad y el flujo de vapor de calentamiento se regulan en forma tal que la temperatura de salida del agua para enfriamiento corresponde a la temperatura del agua descargada de la pieza de equipo bajo estudio. Estas unidades generalmente pueden ser instaladas en cualquier lugar de la planta donde se encuentren localizadas las piezas críticas de equipo.

Un procedimiento sencillo para determinar la velocidad de incrustación o de corrosión puede llevarse a cabo con piezas de prueba. Estas consisten de piezas de tubo insertadas en el sistema de la planta que normalmente tiene flujo de agua sobre ellas; estas pueden ser colocadas en derivación para removerse sin sacar de servicio el equipo de la planta.

La ventaja de este arreglo es que proporciona una indicación de la protección que suministra. Tal equipo de prueba sirve como guía para ayudar en el control de la incrustación.

Es ventajoso observar la velocidad de ataque sin desmantelar el aparato o si va a determinarse la pérdida en peso de metal.

5.10.17 EFECTO DEL AGUA SOBRE EL MATERIAL DE CONSTRUCCION DE LA TORRE.

Un factor importante que debe tomarse en consideración para asegurar un mantenimiento satisfactorio de las torres es el efecto de cualquier tratamiento de agua sobre los materiales usados en la construcción de la torre y su equipo auxiliar.

Debido a que las aguas recirculadas en las torres sufren una aeración, éstas generalmente atacan al metal, principalmente a los materiales ferrosos a causa de la alta concentración de aire absorbido durante su paso a través de la unidad. Esto ocurre tanto en torres de tiro natural como de tiro forzado.

Frecuentemente, la madera utilizada en la construcción de las torres es seriamente dañada por la acción de las sales concentradas que se depositan sobre la madera debido a la evaporación y al crecimiento de hongos. Las sales concentradas de sodio son particularmente destructivas sobre muchos tipos de madera. Cuando ocurre tal ataque, las resinas son separadas de la madera, el material se suaviza y las fibras se separan y desintegran.

Cuando ocurre tal acción, la resistencia de la estructura puede llegar a debilitarse tanto que se requiera reemplazarla. La acción puede disminuirse al mínimo si las torres se lavan a intervalos siempre que existe indicación de una separación de los álcalis en forma de sales. Deberá tenerse precaución para impedir que con el lavado se arrastre fibras al sistema de recirculación. Un acondicionamiento adecuado del agua de recirculación y una selección apropiada del material de construcción de las torres, disminuirá grandemente la velocidad de ataque destructivo sobre las torres.

Un punto considerado es el efecto de los hongos sobre varios tipos de madera. Se conoce el efecto de las sales muy alcalinas sobre la destrucción de la fibra de la madera, pero el conocimien-

to de la influencia de los hongos no ha sido diseminado.

La formación de pulpa, o deslignificación, es probablemente el proceso más importante relacionado con la descomposición de la madera. Este proceso separa la lignina, pectinas y resinas de la celulosa entera o parcialmente fracturada.

El ácido nítrico deslignifica la madera mediante una combinación de nitración, oxidación e hidrólisis. Las sales alcalinas producen deslignificación, mientras que las sales neutras sometidas a alta temperatura y presión actúan como ácidos para degradar a la celulosa. Todos los agentes oxidantes atacan a la lignina. El secado de la madera impregnada con álcali es serio a causa del efecto de hinchado que produce el álcali sobre la celulosa y porque promueve la oxidación. El secado de la madera impregnada con ácidos minerales o de sales que se hidrolizan a ácidos vuelve frágil a la madera debido a la formación de hidrocelulosas.

5.11 ACONDICIONADO DE AGUA PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

La mayor parte del agua empleada con fines industriales se usa para enfriar un producto o un proceso. La disponibilidad del agua en la mayoría de las áreas industrializadas y su gran capacidad calorífica han hecho del agua el medio de transferencia de calor favorito en las aplicaciones industriales y de servicios.

Los cambios en el diseño y en la operación de sistemas de agua de enfriamiento tienen un impacto profundo puesto que influyen el potencial de corrosión, depositación y ensuciamiento en el sistema.

La temperatura del agua de enfriamiento varía a través de la sección transversal de un tubo, y el agua más caliente es la que está en contacto con la pared del tubo. La temperatura de la pared del tubo, llamada temperatura de la piel, es importante para el diseño de los programas de tratamiento. Por ejemplo, en los lugares en donde se presentan altas temperaturas de piel superiores a 200°F (93°C), se pueden encontrar las localizaciones más probables para la formación de incrustaciones y para la corrosión. Muchos compuestos que se encuentran en los depósitos formados en el agua son menos solubles a temperaturas elevadas, y las reacciones de corrosión se realizan más rápidamente a altas temperaturas.

La velocidad del agua de enfriamiento del lado del tubo se mantiene por lo general arriba de 2 ó 3 pies/seg (0.6-0.9 m/seg) y hasta 7 ó 8 pies/seg (2.1-2.4 m/seg) para ayudar a mantener las paredes de los tubos libres de depósitos de sólidos suspendidos. Con bajas velocidades se fomenta la formación de depósitos en los tubos por la sedimentación de sólidos suspendidos. En un haz de tubos, es probable que solo uno tenga una baja velocidad a causa de tapamiento o mala distribución.

Un problema son las bajas velocidades de flujo que se encuentran frecuentemente alrededor de las mamparas, de los soportes de los tubos y del cabezal de tubos, aun cuando la velocidad promedio de flujo a través de la coraza parezca aceptable. Estas áreas de baja velocidad aumentan mucho el potencial para los depósitos y el deterioro rápido del metal. Por ejemplo, se ha sabido de cambiadores de acero suave con agua en el lado de la coraza que fallan debido a perforaciones en un tiempo tan corto como tres meses, aun en presencia de un fuerte inhibidor de corrosión, como el cromato.

5.11.1 ENFRIAMIENTO DE UN SOLO PASO

El agua de un solo paso se toma del abastecimiento de la planta, se pasa a través del sistema de enfriamiento y se regresa al cuerpo receptor de agua. Se ha tomado calor de la fuente. La característica principal de los sistemas de un solo paso es la cantidad relativamente grande de agua que se usa por lo general para enfriamiento.

Los principales problemas que se encuentran del lado de agua en un sistema de enfriamiento de un solo paso son:

CORROSION. Es función de las características del agua y de los metales en el sistema. La corrosión causa fallas prematuras en el metal; los depósitos de los productos de la corrosión reducen tanto la transferencia de calor como los gastos (Q).

INCRUSTACION. Es causada por la precipitación de compuestos que se vuelven insolubles a temperaturas más altas, como el carbonato de calcio. La incrustación interfiere con la transferencia de calor y reduce el flujo.

ENSUCIAMIENTO. Resulta de la sedimentación de sólidos suspendidos, productos de corrosión y masas microbianas. El ensuciamiento tiene el mismo efecto que la incrustación sobre el sistema, pero causa corrosión a depósitos.

El tratamiento del agua de enfriamiento de un solo paso sigue los principios básicos usados en la resolución de todos los problemas del agua de enfriamiento. El primer paso consiste en identificar en forma adecuada el problema como incrustación, corrosión, ensuciamiento o combinaciones de estos factores. El siguiente paso consiste en hacer una inspección completa para entender tanto el lado del proceso como el del agua del sistema. Esto establece el diseño del sistema y las características de operación, consideraciones importantes para la selección y aplicación de un programa de tratamiento económico y confiable. Se considera en forma especial los sistemas restringidos o tratamientos específicos; el potencial para que el agua se entrecontamine con el proceso o con el producto puede impedir el empleo del tratamiento más efectivo. En algunos sistemas de un solo paso se usa el agua de la planta tanto para beber como para enfriar, por lo que se necesitan productos que sean seguros para uso potable.

Un programa típico de tratamiento para control de corrosión puede emplear varios tipos de fosfatos inorgánicos solos o con zinc, con otros iones inorgánicos, o con silicatos. Cuando se aplican a los bajos niveles requeridos para el tratamiento económico de los sistemas de un solo paso, estos materiales no forman una película visible sobre la superficie metálica; sin embargo, pueden reducir la velocidad de corrosión hasta en un 90% en comparación con los sistemas no tratados. Se da protección contra la corrosión porque los productos actúan en el punto de pérdida potencial de metal, obstaculizando la reacción de corrosión y reduciendo por lo tanto la cantidad de metal removido de la superficie.

Cuando la incrustación representa un problema, con mucha frecuencia es carbonato de calcio, que resulta de un cambio en el índice de estabilidad del agua. Otras incrustaciones que se encuentran con frecuencia incluyen hierro y manganeso.

Hay dos enfoques básicos para la prevención de incrustaciones de carbonato de calcio sobre las superficies de transferencia de calor y en las líneas de distribución:

1. Interferir con los iones potencialmente incrustadores y prevenir el crecimiento de cristales. Los polifosfatos inorgánicos y los compuestos organofosforados se usan normalmente solos o juntos para este propósito. En ocasiones se usa ácido para ajustar el índice de estabilidad del agua impidiendo, por lo tanto, la incrustación de CaCO_3 . El ácido no controlará las incrustaciones de hierro y de manganeso. Por lo general éste no es el método más económico para tratar sistemas de un solo paso de grandes volúmenes en cuanto a la prevención de incrustaciones de CaCO_3 .

2. Acondicionar los núcleos de los cristales para impedir su crecimiento sobre las superficies de transferencia de calor y las líneas de transmisión. En este proceso de modificación del cristal se usan varios compuestos de tipo acrilato, compuestos fosfatados tanto orgánicos como inorgánicos y compuestos orgánicos naturales.

El ensuciamiento depositación de partículas o masas microbianas, es un complejo mecanismo gobernado por variables como el tamaño y la carga de las partículas, la velocidad, composición y temperatura del agua, y las poblaciones bacterianas. Un enfoque para el manejo de este problema es el acondicionamiento de los ensuciados según se desarrollen aplicándoles varios compuestos de acrilatos, agentes secuestrantes, productos orgánicos naturales, materiales organo-fosforados, y agentes específicos de control bacteriano, y después arrastrando con agua el material acondicionado fuera del sistema. El éxito de este enfoque depende de que las velocidades del agua sean las adecuadas en todo el sistema. Las áreas de baja velocidad, como las de los cambiadores en el lado de la coraza, las de las chaquetas de los reactores, y las de las chaquetas de las compresoras, son susceptibles de acumular algo de lodo y pueden no prestarse a la protección.

Un segundo enfoque incluye la dispersión de los sólidos suspendidos en partículas diminutas, impidiendo así su aglomeración en partículas suficientemente grandes que se sedimentaría de inmediato separándose del agua. Estas pequeñas partículas se pueden

transportar más fácilmente a través del sistema. La selección del mejor dispersante para este propósito depende del problema por resolver. Cada material potencialmente depositable (arena, sedimento, arcilla, productos de corrosión) requiere de un producto específico aplicado en una dosis suficiente para dispersar el ensuciamiento específico. Entre los productos que se usan con frecuencia están: acrilatos, polímeros de alto y bajo peso molecular tanto aniónicos como catiónicos y no iónicos, agentes secuestrantes, y compuestos organofosforados.

La mayor parte de los problemas de ensuciamiento en todos los tipos de sistemas de enfriamiento se complican por la actividad microbiana. Los depósitos de lama sobre los tubos, no sólo interfieren con la transferencia eficiente del calor, sino que actúan como una trampa enredando sólidos suspendidos, impidiendo todavía más la transferencia de calor. Además, los subproductos del metabolismo bacteriano influyen sobre el agua, incluyendo la tendencia para que se formen incrustaciones o para que se corroan los metales. El uso apropiado de biocidas y biodispersantes puede representar un paso importante hacia la solución del problema de ensuciamiento.

Rara vez se presentan la corrosión, la incrustación y el ensuciamiento en forma independiente uno de otro. Por lo general se desarrollan dos o todos juntos causando una pérdida en la transferencia de calor y una pérdida prematura de metal. Por ejemplo, el ensuciamiento microbiano puede hacer que ocurran incrustación y corrosión; la corrosión puede contribuir al ensuciamiento por hierro y propiciar que ocurra más corrosión. Para romper este ciclo, es importante identificar adecuadamente el problema para seleccionar y aplicar una solución práctica y económica para cualquier problema de depósitos.

5.11.2 SISTEMAS CERRADOS DE RECIRCULACION

Un sistema cerrado de recirculación, es uno en el que el agua se recircula en un circuito cerrado en el que son despreciables tanto la evaporación como la exposición a la atmósfera o a cualquier influencia que pudiera afectar el agua en el sistema.

Estos sistemas requieren por lo general altos niveles de tratamiento y puesto que las pérdidas de agua son despreciables,

estos niveles son económicos. Por lo común se usa agua de reemplazo de alta calidad para la mejor operación del sistema. Estos sistemas se emplean con frecuencia para aplicaciones críticas de enfriamiento, como la colada continua en la industria del acero - en donde el menor depósito de cualquier origen podría causar fallas en el equipo.

Es usual la aplicación de tratamientos con cromato inhibidores de base nitrito/nitrato o del tipo de aceite soluble.

Teóricamente, la incrustación debería representar un problema menor en un sistema cerrado ya que el agua no se concentra por evaporación. En un sistema cerrado herméticamente, ninguno de los constituyentes que por lo común forman incrustaciones, se deposita sobre las superficies metálicas para interferir con la transferencia de calor o para alentar la corrosión.

No obstante, con altas tasas de reemplazo, se forma incrustación adicional con cada nuevo incremento de agua añadida, de modo que, con el tiempo, la incrustación se vuelve significativa. Además, hay oportunidad de que los lodos, el orín y los sólidos suspendidos se depositen en los puntos donde el flujo es bajo y se cuezan sobre las superficies de transferencia de calor formando depósitos duros. Por lo tanto, los retardadores de incrustación y los dispersantes se suelen incluir como parte del programa de tratamiento de los sistemas cerrados cuando las tasas de reemplazo son altas. A menudo se usa agua blanda o condensado para el reemplazo en sistemas cerrados, según las características del sistema que se esté protegiendo.

Debido a que el agua que circula a través de un sistema cerrado no está expuesta a la atmósfera, es raro que haya ensuciamiento por sedimentos transportados por el aire y las arenas son escasas. Sin embargo, el ensuciamiento por masas microbianas puede ocurrir en los sistemas cerrados en los que la tasa de reemplazo es importante o en los que las fugas del proceso fomentan los crecimientos bacterianos. Estos se controlan con agentes de control biológico formulados de manera que sean compatibles con los tratamientos y con las condiciones de operación que se encuentran en los sistemas cerrados.

Como parte del mantenimiento de rutina es deseable lavar los sistemas cerrados de agua, con agua de alta presión y velocidad, para quitar los residuos acumulados si las tasas de reemplazo son elevadas.

5.11.3 SISTEMAS ABIERTOS DE RECIRCULACION

En un sistema abierto de recirculación se incorpora una torre de enfriamiento o un estanque de evaporación para disipar el calor retirado de proceso o del producto. Un sistema abierto de recirculación toma agua del estanque o de la laguna de una torre de enfriamiento, la pasa a través de equipo de proceso que requiera de enfriamiento, y luego la regresa a través de la unidad de evaporación, donde el agua evaporada enfría en el agua que queda. El sistema abierto de recirculación repite este proceso de reutilización, tomando suficiente reemplazo de agua fresca para compensar el agua evaporada.

Las siguientes definiciones se usan para explicar la operación de un sistema evaporativo y para permitir al operador de la planta que calcule el rendimiento.

RELACION DE CONCENTRACION (RC). El reemplazo que entra a un sistema de agua de enfriamiento de recirculación contiene impurezas disueltas. El agua de evaporación produce vapor puro de H_2O , dejando atrás estas impurezas. La relación de las concentraciones de sales del agua de circulación (C_B) y las del reemplazo (C_M) es la relación de concentración.

$$RC = C_B / C_M$$

Puesto que los sólidos que entran deben ser iguales a los que salen.

$$M \times C_M = B \times C_B$$

donde M es el flujo de reemplazo y B representa la pérdida de agua concentrada. Por lo tanto, la relación de concentración es también:

$$FC = M/B$$

La RC debía calcularse para un cierto número de componentes individuales en el agua debido a las interferencias:

- a. La RC sería anormalmente elevada si se basara en un constituyente añadido al sistema. Por ejemplo, el SO_4^{-2} aumen-

ta cuando se añade ácido sulfúrico para el control del pH o de la alcalinidad; el Cl^- aumenta por la cloración; el SO_4^{-2} puede aumentar también si la atmósfera de la planta contiene SO_2 de los gases de combustión.

- b. La RC sería anormalmente baja si se basara en un constituyente que precipita desde el sistema. Por ejemplo, el Ca^{2+} disminuye si están formando incrustaciones de CaCO_3 o de CaSO_4 ; el SiO_2 disminuye si se precipita o si se quita por adsorción sobre los precipitados de hierro. Debido a esto, resulta útil calcular la RC para cada constituyente en el análisis completo del agua.

REEMPLAZO (M). Es el flujo de agua requerido para reemplazar el agua pérdida por evaporación más la que se pierde por la purga, por el arrastre de la torre, y por otras pérdidas variadas. En general se mide por un medidor de flujo; si no, puede calcularse como se muestra a continuación:

$$M = E \times \left(\frac{RC}{RC-1} \right)$$

PURGA (B). Puesto que el vapor de agua puro se descarga por evaporación, los sólidos disueltos y suspendidos que quedan atrás se concentran. Si no hubiera otra pérdida de agua que la de evaporación, estos sólidos se concentrarían hasta formar una salmuera que causaría incrustación masiva y corrosión. Para compensar esto, se sangra un flujo regulado del sistema de circulación. Esta purga (B_R) se calcula y se controla para remover sólidos a la misma tasa a la que se introducen por el reemplazo. Existen otras pérdidas no reguladas del sistema. Una es el arrastre (B_D); otras son las filtraciones (B_L), a veces deliberadas pero accidentales, por lo general. Estas se incluyen en el cálculo de la purga total.

$$B = B_R + B_D + B_L$$

Así, la purga se relaciona con otros factores:

$$B = M - E$$

$$B = M / RC$$

ARRASTRE (B_p). Aunque el agua de evaporación es pura, algunas gotitas escapan como niebla a través del equipo de evaporación. En las torres de enfriamiento modernas, pueden añadirse eliminadores de niebla y de arrastre muy complicados para reducir esta pérdida de gotitas a alrededor de 0.0005% de la tasa de recirculación. Una pérdida por arrastre más común en las torres convencionales de enfriamiento está en el intervalo de 0.05-0.2% de pérdida basada en la tasa de recirculación. En ausencia de una purga controlada, como cuando la válvula de purga se cierra deliberadamente, el arrastre establece la máxima relación de concentración en ausencia de otras pérdidas en el sistema.

PERDIDAS EN EL SISTEMA (B_L). Se puede perder agua de circulación en la planta a través de filtraciones en la bomba o en las válvulas; por derivación para enfriar con un solo paso los collarines de la bomba, las chaquetas o los cojinetes de la compresora; por extracción para usos como lavado del equipo o del área del piso, cuando la línea de agua de enfriamiento se halla cerca de los lugares donde se necesita agua. En muchas plantas, se saca agua de la torre de recirculación con tantos fines que es imposible aumentar la relación de concentración a más de 1.2-1.5. Esto limita mucho la selección de un programa económico de tratamiento e impide una conservación efectiva del agua.

INDICE DEL TIEMPO DE RETENCION (ITR). El índice del tiempo de retención es una expresión de la vida media de un producto de tratamiento añadido a un sistema de enfriamiento evaporativo. Matemáticamente, este índice representa el tiempo requerido para diluir un producto añadido hasta un 50% de su concentración original después que se suspende la adición del producto. También es el tiempo requerido para concentrar al doble los sólidos de reemplazo. Este es un factor importante al fijar los límites de control donde la alimentación de productos puede interrumpirse. También es importante para establecer una dosificación efectiva para los agentes de control biológico.

5.11.4 DISMINUCION DE LA CORROSIDAD DEL AGUA PARA ENFRIAMIENTO.

La corrosión en los sistemas del agua de enfriamiento de recirculación se controla empleando uno o más de cuatro inhibidores básicos y una variedad de complementos menores. Los cuatro inhibidores básico- son cromatos, zinc, ortofosfatos y polifosfatos. Los complementos menores incluyen molibdatos, nitritos, nitratos, varios compuestos orgánicos de nitrógeno, silicatos y productos orgánicos naturales. En general, se recomiendan cantidades de cromato de entre 10 y 30 mg/lit.

Aunque el cromato ha hecho un trabajo notable durante años, las crecientes preocupaciones ambientales han ejercido presión impulsando a que se investiguen nuevos inhibidores de corrosión que potencialmente tengan un menor impacto ambiental. Un primer resultado de estas investigaciones fue el desarrollo de combinaciones de zinc y productos orgánicos. Puesto que el zinc, un inhibidor catódico, tiene menor fuerza de película que el cromato, el pH del sistema para un programa organo-zinc se aumentó hasta entre 7 y 8 para hacer que el agua fuera menos corrosiva, permitiendo que el zinc formara una barrera inhibidora satisfactoria. La parte orgánica del tratamiento era un dispersante para mantener el sistema libre de depósitos, alentando así la formación de una película adecuada de zinc. Además de dispersar, algunos tipos de productos orgánicos aumentaban la solubilidad del zinc al mayor pH requerido para este método de tratamiento. Estos programas fueron adecuados en muchas plantas industriales, pero debido a que la película inhibidora no era tan efectiva como la de cromato al pH de operación, dichos programas no reemplazaron en forma importante a los tratamientos tipo cromato tradicionales.

Más tarde, llegó un concepto innovador en el agua de enfriamiento con la introducción de los compuestos organo-fosforados. A diferencia de los polifosfatos inorgánicos, los compuestos organofosforados son capaces, de inhibir la precipitación del carbonato de calcio y de otras especies que forman incrustaciones, a pH más alto y a mayor alcalinidad que los tolerados por los polifosfatos inorgánicos.

Mayor pH da un agua menos corrosiva, con frecuencia esta re-

ducción no es de la magnitud suficiente para proteger todos los sistemas de acero suave, en especial los cambiadores de calor de acero suave con un alto flujo de calor o con bajas velocidades de flujo. En estos sistemas se tienen todavía que complementar.

5.11.5 VARIABLES IMPORTANTES DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

VARIABLE	E F E C T O S
Ca, Mg.	Definen la tendencia del agua a incrustar
M, pH, T	Definen las concentraciones de carbonato y bicarbonato, y la solubilidad del carbonato de calcio.
SO ₄ , SiO ₂	Deben controlarse para prevenir las incrustaciones de sulfatos y silicato.
Sólidos suspendidos	Causan ensuciamiento, requieren dispersantes
Contaminantes:	Causan ensuciamiento y crecimiento microbiano,
Hidrocarburos, glicoles,	alta demanda de cloro, precipitan a los tratamientos químicos.
NH ₃ , SO ₂ , H ₂ S	

5.11.6 ACONDICIONADORES EN LOS TRATAMIENTOS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

<u>ACONDICIONADORES</u>	<u>CORROSION</u>	<u>INCRUSTAC.</u>	<u>ENSUCIAMIENTO</u>	<u>MICROBIOS</u>
Cromatos	x			
Zinc	x			
Molibdatos	x			
Silicatos	x			
Polifosfatos	x	x		
Esteres de Poliál		x	x	
Fosfonatos		x	x	
Prods. org. naturales		x	x	
Poliacrilatos		x	x	
Biocidas no oxidantes			x	x
Cloro				x
Ozono				x

Los materiales organo-fosforados con la aplicación de inhibidores de corrosión como el zinc, el ortofosfato, el polifosfato, el cromato, o combinaciones de ellos.

La gran ventaja que dan los compuestos organo-fosforados es que la corrosividad reducida del agua permite mantener menos residuos de los inhibidores aplicados y lograr al mismo tiempo tasas aceptables de corrosión.

La dureza de calcio y magnesio definen la tendencia incrustante del agua. La alcalinidad total, el pH y la temperatura.

5.11.7 ACONDICIONAMIENTO CONTRA MATERIA DEPOSITABLE

El control de depósitos en los sistemas de agua de enfriamiento es absolutamente esencial para el mantenimiento de las tasas de transferencia de calor. Sin embargo, el control de los depósitos es a menudo más difícil en los sistemas alcalinos que en los sistemas de menor pH. El agua de reemplazo puede contener sólidos disueltos, materia orgánica y sólidos suspendidos, de los que cualquiera puede contribuir al ensuciamiento. Un sistema puede quedar fuertemente contaminado con microbios, por ejemplo, un agua de reemplazo con alta DBO, tal como un efluente municipal o industrial, es particularmente susceptible de ensuciar a partir de bacterias formadoras de lama.

El agua cruda y el aire inoculan a un sistema con materia orgánica coloidal, sedimentos, hierro soluble y microbios. El sulfuro de hidrógeno, el dióxido de azufre y el amoníaco pueden entrar desde la atmósfera de la planta.

La mayor parte de los agentes de control de incrustaciones comúnmente usados controlan también el ensuciamiento, pero no todos son igualmente buenos para dispersar toda clase de depósitos. Los productos orgánicos naturales y sintéticos, incluyendo ligninas sulfonadas, taninos y agentes activos de superficie, se aplican por lo general para dispersar óxidos hidratados y depósitos orgánicos. Algunos materiales de la familia de los acrilatos son dispersantes para los sedimentos, la arena, los óxidos duros de hierro y otros depósitos inorgánicos. Los compuestos organo-fosforados, incluyen los ésteres de poliol y los fosfanatos, son dispersantes para los precipitados de carbonato de calcio y sulfato de calcio. Sin

embargo, una vez que los depósitos se forman, cualquier acción de remoción de incrustaciones efectuadas por estos dispersantes se lleva a cabo lentamente, por lo que el mejor enfoque consiste en evitar que se formen las incrustaciones en primer lugar.

5.11.8 ACONDICIONAMIENTO CONTRA CRECIMIENTO DE ORDEN BIOLÓGICO.

Los depósitos microbianos presentan un caso especial de ensuciamiento. En el tratamiento se requieren a menudo biocidas para matar las colonias de microbios y dispersantes para aflojarlas y sacarlas por lavado. El biocida que se emplea más comúnmente en todos los sistemas es el cloro. Se cree que el cloro es menos efectivo a un pH superior a 8 que a uno por debajo de 7. Sin embargo, todavía es un biocida efectivo y resulta indispensable en el tratamiento de agua de enfriamiento.

Existen problemas asociados con el uso del cloro. Puede reaccionar con algunos materiales orgánicos, en particular con los compuestos fenólicos, para formar productos de reacción que son no-biodegradables o refractarios, lo cual significa problemas potenciales en el efluente.

El cloro puede aplicarse a la mayor parte de los sistemas de recirculación sin peligro de deslignificar la madera de las torres si los residuos de cloro no exceden de 1 mg/l. Rara vez es necesario mantener el cloro libre residual arriba de 0.2-0.3 mg/l para controlar los crecimientos microbianos, en casi todos los sistemas.

Aunque el cloro es un excelente agente exterminador, existen algunas limitaciones notables para el cloro que hacen necesario el uso de biocidas no oxidantes en buena parte de los sistemas. El cloro no es penetrante, así que puede lograr el exterminio superficial de un depósito microbiano, pero no penetra la capa de lama para remover y matar a los organismos que están debajo de ella. Esto representa un contraste con los biocidas no oxidantes y con los biodispersantes selectivos, que sí tienen capacidad de penetración.

5.12. AGUA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

5.12.1 AGUA EN LA PRODUCCION DE AZUCAR

5.12.1.1 AZUCAR DE REMOLACHA

La fabricación de remolacha sólo está en actividad una parte del año, produciendo una gran cantidad de residuos putrescibles durante unos 70 a 100 días, de octubre a enero. El principal residuo capaz de producir contaminación por polución, y que constituye aproximadamente tres cuartas partes de la descarga, es el agua de los silos. Está constituido por el agua empleada para arrastrar y lavar las remolachas y contiene limo y trozos de raíz, pero tiene una demanda bioquímica de oxígeno baja, hasta la última parte del periodo de fabricación. El agua de la pulpa, procedente de los difusores y de las prensas de pulpa, constituye aproximadamente el 15 por ciento de los residuos totales en volumen. Tiene un DBO alto, y materia fina en suspensión.

El proceso termina en las centrifugas, en las que el producto final es una melaza densa. En algunas fábricas se ha instalado el proceso para extraer azúcar de estas melazas.

Los residuos líquidos se pueden eliminar mediante su uso en riegos por inundación. Almacenándolos en estanques o lagunas, o por medio de una precipitación. Se ha usado el tratamiento biológico, con filtros de escurrimiento, sobre el efluente de la precipitación y sobre las aguas sobrantes de la fabricación.

El almacenamiento en estanques del agua de los silos, posiblemente con tratamiento con cal u otros productos, no siempre resulta satisfactorio a causa del limo y de la acción séptica debida a la alta DBO.

Es preferible tratar las espumas calizas separadamente, mientras que los residuos se pueden desecar y esparcir. El lodo se puede desecar fácilmente en filtros de vacío. Las espumas de cal se pueden pasar por filtros prensa y sacarse casi secas de dichos filtros. En otro caso, la papilla se puede filtrar al vacío, y la torta resultante eliminarse enterrándola o por otros medios, descargando el líquido procedente de la filtración.

NATURALEZA DE LOS RESIDUOS DE LA AZUCAR DE REMOLACHA

Determinación	AGUA DE LOS SILOS	ESPUMAS	RESIDUOS
Volumen, lt/ton de remolacha	7000	262	1 137
Sólidos en suspensión mg/l	400	450	1 300
Sólidos volátiles	35	...	75
Sólidos totales mg/l	158	3 310	43 000
BOD, mg/l	200	1 420	1 600
Oxígeno consumido o demanda química de oxígeno mg/l	175	500	1 500
Sacarosa, mg/l	100	...	1 500

5.12.1.2 AZUCAR DE CAÑA

Los residuos de la fabricación de azúcar de caña son principalmente la caña molida, llamada bagazo, y una mezcla de residuos de los jugos y de las aguas de lavado del proceso de refinación y de la propia fábrica. El bagazo puede quemarse como combustible o emplearse para la alimentación de los animales. Los residuos líquidos se suelen eliminar extendiendolos sobre el terreno, sea mediante el riego o en estanques de oxidación, o pueden tratarse biológicamente en fosas sépticas, o en filtros de escurrimiento, o en ambos.

5.12.2 EL AGUA EN LA INDUSTRIA LECHERA

La industria lechera, aún no siendo la de mayor valor desde el punto de vista económico, es la más ampliamente distribuida de todas las que crean problemas de evacuación de residuos. Sus productos son muy concentrados, perecederos, y de tanta capacidad de contaminación por polución, que no es posible descargarlos, sin discriminación, en las corrientes de agua naturales. El mejor mé-

todo de evacuación, cuando sea posible, es su descarga en la atarjeas municipales, para que sean tratados con las aguas negras.

Los residuos que se obtienen en el tratamiento de la leche y en la elaboración de los productos que de ella se derivan, pueden clasificarse en residuos domésticos; aguas de refrigeración; productos alterados o excedentes de leche desnatada, suero o leche de manteca; goteos, escapes y aguas de los primeros lavados; y aguas de lavado alcalinas. Tales residuos deben separarse antes de su tratamiento, para reducir al mínimo los problemas relativos a dicho tratamiento.

ANALISIS DE LA LECHE ENTERA Y SUS SUBPRODUCTOS

Sustancia	Sólidos Tot.	Sólidos orgánicos	Cenizas	Grasa	Azucar	Proteínas	DBG en Oxígeno-5 días consumido	
	g	g	g	g	g	g	mg/l	mg/l
Leche entera	12.5	11.7	0.80	3.6	4.5	3.8	102 500	36 750
Leche desnatada	8.23	7.45	0.78	0.10	4.6	3.9	73 000	32 200
Leche de manteca	7.75	6.88	0.87	0.50	4.3	3.6	64 000	28 600
Suero	7.20	6.40	0.80	0.40	4.4	0.8	32 000	25 900

Los efectos de la descarga de estos residuos en una corriente, pueden variar desde ser beneficiosos para la vida animal y vegetal, hasta ser nocivos para los peces, haciendo el agua inadecuada para el consumo público o determinando la producción de olores tan molestos que son motivo de un trastorno público. Los residuos de leche se pueden evacuar por dilución del mismo modo que otros desechos orgánicos. Sólo requieren tratamiento cuando la capacidad de la corriente es insuficiente para recibirlos. La capacidad se mide de la misma manera que en la evacuación de aguas negras por dilución. Pueden combinarse con las aguas negras municipales, cuando no resulte de ello una carga excesiva para la instalación municipal de tratamiento, y se establezca alguna forma secundaria de tratamiento. La sedimentación simple es ineficaz y la septización no suele dar buenos resultados.

En el tratamiento de los residuos de la industria lechera solos, el primer paso es hacer pasar el residuo de que se trate por una cámara desarenadora y por una criba para interceptar la tierra el serrín, los trozos de vidrio y otros materiales gruesos. La sedimentación primaria simple, carece de utilidad, pues la mayor parte de los materiales con capacidad de polución pues están en solución o son coloidales.

La alta demanda de oxígeno y la gran riqueza en lactosa y proteínas de los residuos de la leche, exigen un tratamiento aeróbico, para evitar la producción de grados de acidez perjudiciales.

Entre los métodos de tratamiento final y de evacuación que pueden dar resultados satisfactorios, figuran: el riego y evacuación sobre el terreno; el uso de filtros de escurrimiento de acción rápida; y la aireación o activación del lodo. Son condiciones convenientes en el tratamiento por aireación, el mantenimiento de la temperatura entre 26.6° y 32.2°C y una buena agitación, sin formación de espuma.

Los residuos poco concentrados pueden tratarse en tanques sépticos, con períodos de retención de 24 a 72 horas. No es conveniente usar períodos de 24 horas, porque la naturaleza intermitente de la descarga, puede determinar que el periodo en el tanque sea demasiado corto. El uso de tanques Imhoff no es aconsejable, pues los tanques sépticos más baratos, producirán en condiciones favorables, resultados satisfactorios.

La precipitación puede ser eficaz, pero requiere mucha supervisión y resulta más costosa que los métodos biológicos. Si se usa, debe agregarse suficiente cal para precipitar y neutralizar la caseína y el ácido láctico, a fin de evitar la septicidad en los tanques de sedimentación.

En el caso del suero y los residuos lácteos concentrados, lo mejor es tratarlos agregando aproximadamente un exceso de cal del 35 por ciento para neutralizar la acidez, que puede llegar a ser de 6,500 mg/l: calentando el punto de ebullición, para formar una cuajada que se asentará rápidamente; y tratando el efluente refrigerado del tanque de sedimentación en una fosa séptica, con filtración subsecuente. La cuajada sedimentada, después de seca, puede tener algún valor como alimento para el ganado.

La tendencia actual de los tratamientos, es adoptar un proceso modificado de activación, en el que se hace recircular al lodo hasta que se estabiliza. Los datos mínimos de proyecto requeridos parecen ser 60 litros por minuto por kilogramo de demanda biológica de oxígeno, usando aireación a chorro, una retención de 30 horas en un tanque combinado de homogeneización, 2 horas de asentamiento final, y dispositivos para el retorno continuo de todo el lodo al tanque de aireación, con los residuos de nueva incorporación. Se ha comprobado que también resulta práctica la aireación sola, seguida de sedimentación y el proceso

completo de activación del lodo. En la aireación directa se ha usado una aportación de aire moderada como la de 30 litros por minuto por kilogramo de DBO por día.

La instalación de filtros de escurrimiento puede dar excelentes rendimientos en el tratamiento de los residuos de la industria lizació n de la leche.

LIMITACIONES ESTABLECIDAS PARA EL CONTENIDO MAXIMO DE
DBO EN LOS RESIDUOS LECHEROS

Proceso	DBO, en kilogramos	
	Por cada 10 000 kg de leche o equivalente en leche, en los primeros 23 000 kg de leche.	Por cada 10000 kg de leche por en ma de 23 000
Recepción y refrigeración de la leche	7	6
Transporte en camiones tanque a la fábrica y desde la fábrica.	1	6
Almacenamiento en tanques	1	1
Evaporación de la leche entera:		
residuos del piso	4	3
pérdidas	2	2
Enlatado y esterilización de la leche evaporada	4	3
Desecación por aspersión	4	2
Separación de la crema	4	4
Pasteurización de la crema, y enlatado	4	4

Fabricación de queso en el campo, o caseína	16	16
Fabricación de queso americano: cuajada sin lavar	10	8
Cuajada lavada	16	4
Condensación de la leche desnatada al natural:		
residuos del piso	6	6
pérdidas	3	3
Condensación de la leche desnatada, endulzada:		
residuos del piso	8	8
pérdidas	3	3
Condensación de la leche desnatada sobrecaentada	12	12
Desecación de la leche desnatada:		
rodillos	20	10
aspersión	4	2
Condensación del suero dulce:	16	8
residuos del piso		
pérdidas	4	4
Condensación del suero, ácido:		
residuos del piso	12	8
pérdidas	3	3
Desecación del suero	10	6
Condensación de la leche de manteca	12	8
Pasteurización, refrigeración y embotellado de la leche	10	8
Fabricación de helados mixtos:		
vasijas	8	6
tanques	8	6
Congelación de helados	2	2
Fabricación de leche de manteca cultivada	10	10
Batido y lavado de manteca	6	6

5.12.3 AGUA EN LA PRODUCCION DE CONSERVAS Y ALIMENTOS ENLATADOS

Los residuos de la preparación comercial de alimentos, comprenden los desechos de la preparación y enlatado de hortalizas y frutas, y de la preparación y congelación de productos alimenticios distintos del pescado, la carne, o las bebidas. Los residuos líquidos de las fábricas de conservas son putrescibles, ricos en sólidos totales, y con alta demanda bioquímica de oxígeno. Pueden clasificarse en: (1) agua procedente de la esterilización por el calor y del enfriamiento de los botes cerrados; (2) aguas procedentes del proceso de fabricación, lavado de productos, blanqueado, desagües, y limpieza de pisos y equipo; (3) residuos sólidos; (4) residuos especiales de productos o de métodos de enlatado particulares.

Entre los métodos de tratamiento figuran, el cribado la sedimentación, con o sin coagulantes, la filtración biológica, los filtros de acción especialmente rápida, el almacenamiento en estanques, el riego de las tierras por aspersión o por otros métodos y la distribución en campos de absorción. Los residuos de los procesos primarios pueden ser tratados en estanques de almacenamiento, o empleados para el riego de terrenos, sea por aspersión o por medio de surcos. La distribución en riegos por aspersión requiere disponer de terrenos ^o cubierta vegetal, y un cribado previo de los residuos. Estos pueden aplicarse a razón de 1.0 a 1.5 centímetros por hora, durante un periodo de 10 a 12 horas. En un año ha podido ser absorbido un total de 3 000 centímetros.

En muchas fábricas se recurre al uso de estanques para que se puedan acumular los residuos durante el período de fabricación y poder descargarlos después, poco a poco, en las aguas receptoras, durante un periodo más largo y cuando se disponga de un volumen mayor de aguas de dilución.

CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA CONSERVERA

PRODUCTO	VOLUMEN POR CAJA, LITROS	DBO mg/l	SOLIDOS EN SUSPENSION
Albaricoques	199-280	200-1 020	260
Espárragos	245	100	30
Frijol verde	91-154	160-600	60-85

Lima	175-900	189-450	422
Remolacha	94-228	1 580-5 480	740-2 188
Zanahoria	80	520-3 030	1 830
Maíz: estilo crema	84	623	302
grano entero	87-245	1 123-6 025	300-4 000
Cerezas, ácidas	42-140	700-2 100	20-605
Toronja	17-196	310-2 000	170-287
Melocotones	9 100	1 350	600
Chícharos	49-196	380-4 700	272-400
Calabaza	70-147	2 850-6 875	785-2 500
Espinacas	560	280-730	90-580
Tomate, entero	10-50	570-4 000	190-2 000
jugo o productos	133-350	178-3 880	170-1 168

El paso por cada criba fina elimina las partículas más gruesas y puede ser suficiente en casos como el enlatado de guisantes, donde la mayor parte de los desechos sólidos son gruesos. No es económico emplear una criba de menos de 16 mallas y es preferible disponer de una de menos de 8 mallas. La sedimentación simple puede eliminar mayor cantidad de sólidos que un cribado fino. La sedimentación simple puede usarse donde de buenos resultados la clarificación sin decoloración. Si es necesaria la eliminación del color, debe acelerarse la sedimentación por precipitación, con alumbre o cal y sulfato de hierro. Como en este proceso el lodo entra fácilmente en putrefacción, debe extraerse la mayor parte de los sólidos que se pueda, antes de enviar el efluente a una instalación de tratamiento, a fin de reducir la carga orgánica en dicha instalación. El líquido saliente de los tanques de sedimentación, es inadecuado para la evacuación en agua, sin una alta dilución. El gran volumen de lodo que se obtiene con la precipitación, hace que el proceso sea poco recomendable. Puede reducirse la dilución necesaria, mediante el empleo de filtros de escurrimiento o de percolación, seguido de filtración en arena, si es necesario.

Se han usado biofiltros de tipo profundo y acción rápida, con cargas de 4.5 a 6.5 kg de demanda bioquímica de oxígeno por metro cúbico y por día. La sedimentación en tanques sigue a dicha filtración, pueden tener un período de retención de unos 75 minutos,

y un derrame de 58 a 62 metros cúbicos por metro cuadrado de área de la superficie del tanque.

El proceso de activación del lodo no suele ser adecuado para el tratamiento de los residuos de la industria conservera, a causa de las variaciones repentinas que se producen en la naturaleza de la carga y del carácter periódico de la industria.

5.12.4 AGUA EN LA INDUSTRIA DE LA CARNE.

La matanza de los animales y la preparación y empaclado de los productos de la carne, dan por resultado la producción de residuos con gran capacidad de contaminación por polución, con una concentración de 10 a 15 veces mayor que las aguas negras normales, medida en función de los sólidos totales y de la demanda bioquímica de oxígeno total. Los líquidos residuales contienen paja, restos intestinales, sangre, grasa, restos de vísceras y otros desechos orgánicos. La concentración o fuerza de estos residuos varía mucho dentro de cada día y de unos días a otros, en la misma instalación industrial, de acuerdo con sus actividades. Las grandes variaciones en cantidad y calidad pueden afectar muy sustancialmente a los métodos de tratamiento y a sus resultados.

Una revisión de los métodos en uso para el tratamiento de los residuos de la industria de la carne, mostrará una gran diversidad en los posibles resultados. Los métodos biológicos han sido en general, satisfactorios, y los métodos basados en el uso de cloro, cal y alumbre, han dado buenos resultados en los mataderos pequeños.

El tratamiento anaeróbico ha eliminado un 95% de la demanda bioquímica de oxígeno y un 90% de los sólidos en suspensión en cargas de hasta 3.3 kg de demanda bioquímica de oxígeno por metro cúbico de volumen del digestor y por día. En instalaciones se usan las siguientes bases para el proyecto:

El volumen del tanque de homogenización es un 27% del escurrimiento total.

El gasto de descarga es constante, con el gasto promedio de escurrimiento.

Los calentadores (dos) mantienen los digestores a una temperatura de 35° C.

Los digestores (dos) tienen capacidad para 2.4 Kg de BOD por metro cúbico y por día y 2.4 Kg de sólidos volátiles por metro cúbico y por día.

Los desgasificadores (dos) extraen todo el metano y la mayor parte del anhídrico carbónico. El diseño es para 50 mm de vacío.

Los separadores (dos) proporcionan retorno del lodo en proporción de 1:1 6 3:1, a 23 m³ por día por metro cuadrado de superficie de carga.

La aplicación a los filtros de escurrimiento se hace a razón de 176 000 m³ ha y por día y la carga de BOD es de 0.97 kg/m³ y por día.

Los clarificadores finales tienen una carga por superficie de 31 m³ por día por m².

Los filtros de escurrimiento son adecuados para instalaciones de tratamiento de tamaño medio y grande, y cargas de BOD de 2 175 a 2 816 kg/m³ y por día sobre filtros gruesos, seguidos frecuentemente por filtros de tipo ordinario.

El proceso de activación del lodo puede dar buen resultado -- cuando se trate de residuos de empacadora diluidos.

Los residuos de las instalaciones empacadoras pueden tratarse por los mismos métodos que se usan en el tratamiento de las aguas negras ordinarias, aunque pueden ser necesarias algunas modificaciones en el proceso. Deben pasarse primero los residuos por una cámara desarenadora y separar la grasa mediante un desespumado. La grasa recogida no suele tener ningún valor, pues es gomosa y está manchada con semillas de hierbas y otros materiales putrescibles, por lo que su recuperación es difícil y costosa y no suele compensar el gasto necesario. Los residuos deben hacerse pasar después por una criba de 8 mallas por pulgada para quitar los materiales en suspensión, que en otro caso dificultaría las fases posteriores del tratamiento. Las cribas más finas crean dificultades, debido a la probable obstrucción de las mismas. Los residuos, después de cribados, se pasan a una o varias cámaras de sedimentación, en serie, con un período de retención de 2 a 4 horas, de las que conviene extraer el lodo depositado, por medio de algún dispositivo mecánico. Es conveniente, cuando sea posible, diluir el efluente del tanque

de sedimentación con aguas negras cribadas y sedimentadas, después de lo cual se puede tratar la mezcla por el proceso de activación o mediante filtración en filtros de escurrimiento. Han dado buenos resultados tanto la aireación por difusión, como la aireación mecánica. En Chicago se ha usado un período de aireación de 9 horas, con 27 a 38 lt de aire difundido por litro de residuos, en el proceso de activación del lodo, usándose un gasto de 5 250 a 8 750 m^3/ha y por día, en los filtros de escurrimiento. El período y la cantidad de aireación, así como el gasto de los filtros de escurrimiento se establecen de tal modo que la carga de BOD eliminada pueda aproximarse a las cargas tipo adoptadas para el tratamiento de las aguas negras domésticas.

Se ha ideado un proceso anaeróbico por contacto que se asegura que puede eliminar el 98% de la demanda bioquímica de oxígeno y el 90% de los sólidos en suspensión con cargas de hasta 3.35% kg de demanda bioquímica de oxígeno por metro cúbico de volumen del digestor y por día. Se ha dicho que con períodos de retención de 48 horas y una carga de 191 kg/m^3 de capacidad del digestor, se puede obtener hasta un 90% de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno.

Si los residuos de las empacadoras son muy concentrados y no se pueden mezclar con aguas negras domésticas, puede ser conveniente recurrir a la precipitación. Las proteínas recuperables, pueden tener un valor suficiente para compensar parte del costo del tratamiento. Las proteínas pueden precipitarse por medio de ácido sulfúrico, compuestos de hierro y aluminio, de agentes oxidantes, o de otros coagulantes orgánicos. Puede usarse satisfactoriamente el cloro líquido como precipitante. Se necesita de 1 a 1 1/2 partes de cloro por cada parte de nitrógeno total cuando se ajusta el pH a 4.0 aproximadamente. Como los residuos pueden contener 150 mg/l o más de nitrógeno total, la cantidad de cloro es alta, si se compara con la que suele usarse en la esterilización. Sin embargo, gran parte del cloro se emplea en la oxidación de la materia orgánica, de modo que la demanda bioquímica de oxígeno del efluente es menor que la que se obtiene por una simple eliminación de los compuestos nitrogenados.

CONCENTRACIONES DE RESIDUOS DE EMPACADORAS

Ganado	Líquido litro por tone- lada	BOD	Kilogramo por tonelada		Sólidos en Grasa
			Suspensión	Nitrógeno	
Vacuno	11 287	13	11.5	1.44	0.91
Cerdos	15 050	14	9.5	1.43	1.49

5.12.5 AGUA EN LA INDUSTRIALIZACION DE CITRICOS

Para el tratamiento de los residuos de la industrialización de los frutos cítricos se ha usado, con resultados satisfactorios, el proceso de activación del lodo. Se ha usado también otros métodos, pero en todos los casos, es necesario un tratamiento preliminar para evitar una concentración excesivo en el líquido saliente.

LIMITES DE CONCENTRACION DE RESIDUOS TOXICOS Y NOCIVOS

Elemento	Sin digestión del lodo	Digestión del lodo	Tratamiento Secundario
pH	5.0	6.5	6.5
Hierro, total mg/l	5.0	5.0	5.0
Cobre, total mg/l	3.0	1.0	1.0
Cromo, total, mg/l	5.0	5.00	3.0
Cianuros, total mg/	12.0	2.0	2.0

5.12.6 AGUA EN LA INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS ALCOHOLICAS

Las destilerías, las cerveceras, las fábricas de malta, las bodegas, etc., producen residuos que pueden clasificarse como desechos de la producción de bebidas alcohólicas. En general, cada fábrica ofrece un problema especial. La mayor parte de estas industrias producen residuos de tres orígenes distintos, que puedan clasificarse, como aguas de la fabricación, aguas de limpieza, y aguas de refrigeración o condensación.

Las aguas residuales de la fabricación suelen ser el residuo más importante. Pueden contener de 10 000 a 70 000 mg/l de sólidos totales, de los que la mayor parte es materia orgánica disuelta.

Los métodos de tratamiento que pueden dar resultados satisfactorios son la activación con alta aireación, los filtros de escurrecimiento con velocidad relativamente lenta de aplicación de los residuos en la superficie del filtro, y la precipitación. La digestión anaerobia no suele dar buenos resultados a causa de la acidez de los residuos, que hace que resulte difícil de vender la fase ácida de la digestión.

CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS DE DESTILERIA TIPICA

Tipo de Residuo	Miles de litros por día	Sólidos		BOD		temp. C
		Total	mg/lit En sus pensión	mg/lit	Kg/lit	
Condensado del evaporador	157	130	12	600	102	51.7
Lavado	73	1 050	400	1 000	80	21.1
Excedente de la torre de enfriamiento	84	1 100	200	550	50	46.1
Destilador	10	240	40	1 000	12	76.6
Aguas negras domesticas	24	830	300	200	6	21.1
Total o promedio	350	610	160	670	250	40.0

Por lo tanto, para que el tratamiento preliminar de los residuos sea satisfactorio, tiene que ser aerobio y rápido, como el filtrado al vacío, la presión, la centrifugación o el paso por cribas finas. Los sólidos obtenidos en estos procesos, suelen contener sustancias útiles que pueden recuperarse; los líquidos se envían a los dispositivos de tratamiento biológico para prepararlos para la evacuación.

5.12.7 AGUA EN LA INDUSTRIA DE LOS PRODUCTOS DE MAIZ

La eliminación de los residuos de la industrialización del maíz, presenta problemas. Estos residuos suelen ser calientes, ácidos y en su mayor parte estériles, pero se descomponen rápidamente cuando se vierten en las atarjeas o en una corriente natural, y aumentan notablemente la demanda bioquímica de oxígeno.

En algunas fábricas de productos derivados del maíz, se empieza por sumergir los granos en una solución al 0.4 por ciento de bixido de azufre, después de los cual se muelen y se someten a diversos procesos, para separar los tegumentos, el germen, y el almidón. Los residuos más importantes son los líquidos que sobrenadan en los sedimentadores de gluten y de almidón, el residuo de los recipientes de vacío donde se evapora el agua de lavado o la glucosa, el agua de lavado de los filtros de huesos, el filtrado y el agua de lavado de filtros de gluten o de almidón y los restos de jabón. Los excedentes del gluten y del almidón forman más de las tres cuartas partes del material de polución.

Los residuos, después de ser sometidos a cribado y sedimentación, pueden tratarse satisfactoriamente por métodos biológicos, sea por activación o por filtrado en filtros de escurrimiento. La sedimentación sola tiene poco valor y el método de activación puede no dar resultados satisfactorios de un modo continuo: es costoso y no se ha podido resolver el problema de la evacuación del lodo. Se ha comprobado que el tratamiento en filtros de escurrimiento da buenos resultados en todas las estaciones.

Se ha resuelto satisfactoriamente muchos de sus problemas de eliminación de residuos, mediante la recuperación de subproductos, merced o modificaciones en los procesos internos dentro de la fábrica.

MEDIDAS PARA LA RECUPERACION DE SUBPRODUCTOS Y LA ELIMINACION DE LOS RESIDUOS

1. Reducción de la pérdida de sólidos por arrastre, limitando la evaporación a un mínimo mediante la instalación de equipo de concentración.
2. Instalación de equipo para eliminar un exceso de aguas de lavado y filtración del almidón, que difulta la nueva utilización del agua en el proceso industrial.
3. Establecimiento de medios para limitar la cantidad de agua de lavado de los filtros de carbón animal enviado a las atarjeas.
4. Eliminar el envío a las atarjeas de todas las aguas del proceso, filtración y elaboración.
5. Aislar todas las condiciones de la refrigeración de aguas en el agua de remojado y en la procedente de las concentraciones en

el proceso de industrialización.

6. Instalar equipo con capacidad complementaria por encima de los filtrados de los procesos de concentración y de las aguas de lavado que normalmente tengan que descargarse en la atarjeas.

7. Eliminar la descarga en las atarjeas de las aguas de los evaporadores y evacuar por separado este material.

5.13. AGUA EN LA INDUSTRIA DEL VESTIDO

5.13.1 AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Los residuos producidos por la industria textil son muy variables por sus características, su cantidad y su capacidad de polución. Los principales procesos de fabricación que producen residuos que necesitan tratamiento son: el blanqueo del algodón; el blanqueo y el enriado del lino, el cáñamo y el yute, y el hervido de la seda. Los procesos de acabado son: el teñido y estampado, el refuerzo o endurecimiento, la carbonización y el rayado, y el lavado de la hilaza y la limpia de las piezas. Los residuos del proceso de fabricación pueden tratarse por métodos biológicos, mientras que los procesos de acabado producen residuos que deben tratarse preferentemente por precipitación química.

Los procesos de blanqueo del algodón, el lino, el cáñamo y el yute, son en esencia iguales, por lo que se refiere a la calidad de los residuos producidos. La fase del proceso que produce residuos más perjudiciales es el hervido de los productos, bajo presión, en presencia de lechada de cal o de sosa. Los residuos son muy alcalinos y contienen grasas y aceites que se adhieren a las fibras de cada producto y son separados de él. Los residuos de esta fase del proceso deben tratarse con independencia de otros residuos, por neutralización y precipitación con ácido sulfúrico. El líquido que sobrenada se puede mezclar con los demás residuos de la fábrica y tratarse el conjunto por métodos biológicos, preferentemente después de haberlo mezclado con aguas negras.

El enriado del lino, el cáñamo y el yute, consiste en separar las fibras brutas de la planta. Las plantas se sumergen en agua, durante uno o dos semanas, hasta que las fibras se aflojan por fermentación. El residuo líquido tiene un olor desagradable

y es muy rico en materia orgánica y en demanda bioquímica de oxígeno. Los desechos se pueden neutralizar con cal y precipitarse con alumbre, tratándose el efluente del tanque de sedimentación por filtración en filtros de escurrimiento o por el proceso de activación del lodo.

La seda natural se hierve en tanques sucesivos, con una solución de jabón que contiene carbonato de sodio, para quitarle el polvo y otras sustancias extrañas, como capullos y gusanos muertos adheridos a las fibras. El líquido de los tanques de ebullición es muy putrescible, espeso, pardo y de consistencia gelatinosa. Contiene jabón, sericina, materia colorante, capullos, crisálidas y otros materiales orgánicos. Tiene un olor desagradable y se pudre rápidamente. Respecto a cantidad puede estimarse que se usan unos 2 136 litros de agua y 25 a 35 Kg de jabón por cada 100 kg de seda lavada.

Independientemente de su aspecto desagradable, el residuo se puede tratar satisfactoriamente por precipitación con cloruro aluminoférrico o férrico, y el efluente del tanque de precipitación se puede tratar después por métodos biológicos. El lodo resultante es difícil de tratar, si se quieren recuperar productos útiles. Puede desecarse satisfactoriamente en lechos de desecación y emplearse como fertilizante o enterrarse.

En muchos procesos de teñido y estampado de productos textiles, éstos, después de lavado cuidadosamente, se remojan o hierven en tanques de teñido, antes o después de pasarlos por fijadores para que retengan el color. Posteriormente se vuelven a lavar completamente, sea con agua clara o con jabón, corteza de jabón o greda. El residuo no tiene mucha capacidad de polución y puede tratarse por medio de cribado o sedimentación, con o sin precipitación, seguidos de tratamiento biológico si es necesario. El cribado es conveniente para separar las cantidades relativamente grandes de fibra suelta que se encuentran presentes y pueden ser necesaria la precipitación seguida incluso por filtración en arena, para quitar el color. Algunos procesos especiales de teñido, como el teñido con índigo, requieren un tratamiento intermedio de los residuos, para recuperar productos valiosos, aplicando a los residuos finales métodos de tratamiento semejantes a los que se usan -

con los residuos de la mayor parte de los procesos de teñido. Los procesos de teñido en que emplean ciertos derivados del alquitrán de hulla, disueltos en sulfato de sodio; producen residuos con mucha capacidad de polución, a causa de su elevada demanda bioquímica de oxígeno. El volumen de estos residuos puede reducirse a un mínimo mediante un desarrollo adecuado del proceso o de la recuperación de subproductos, con tratamiento del residuo final por precipitación química, desecación del lodo en lechos de desecación, y aireación y filtración biológica del líquido que sobrenada, después de mezclarlo con aguas negras.

Los residuos del endurecimiento o refuerzo de los tejidos son de escaso volumen y pueden diluirse con otros residuos del proceso textil, antes de su evacuación final o de su tratamiento por medios biológicos, procesos de la fabricación de mezcla de algodón y lana, producen residuos ácidos alcalinos y aguas de lavado, que contienen gran cantidad de sólidos, ninguna de los cuales es muy putrescible. Los residuos pueden mezclarse, neutralizarse y sedimentarse, sin precipitación y el líquido final no necesita tratamiento ulterior antes de su evacuación de las hilazas y de las piezas es necesario, pues durante el proceso de fabricación se agregan grasas y aceites a los materiales iniciales para poderlos trabajar. Para la eliminación de éstas y otras sustancias agregadas, se usa mucha agua de lavado, jabón y algunos productos, dando lugar a residuos jabonosos, turbidos y pútridos, con presencia de espuma. En su tratamiento se puede recuperar la grasa con aplicación de ácidos o en el proceso de lavado y tratarse biológicamente.

Los métodos de tratamiento de los residuos de la industria textil se pueden resumir del siguiente modo: (1) separación de los residuos; (2) homogenización, llamada también composición o promediación; (3) cribado y otros tratamientos preliminares; (4) mezcla para provocar la autoprecipitación, llamada también coprecipitación; (5) precipitación (6) filtración mecánica; (7) tratamiento biológico, como en los procesos de filtración de acción rápida o de activación del lodo; y (8) métodos diversos.

CARACTERÍSTICAS PROCEDIO DE LOS DESBORDS CRUDOS DE UNA PLANTA

Variable	Restregado de la lana y del pelo animal	Tañido y acabado de la lana	Acabado de la tela tratamiento de algodón y material sintético.	Acabado de la tela de punto de algodón y material sintético	Tañido estampado de alfombras (algodón,lana,sint.)	Tañido de materia prima e hilo de algodón y sint.
Uso de agua (gal/lb)	4.3	40	13.5	18	8.3	18
Producción (tamaño med.)		2-20	6-180	8-40		
1000 lb/día	80	3-20	7-15	9-60	60	60
DBO ₅	4740-6220	150-700	250-850	100-650	144-630	75-340
	5480	300	550	250	340	200
SST	5000-24,500	45-300	45-475	40-485	75-150	25-75
	7500	130	185	300	120	50
DOO	29,600-31,300	280-5000	425-1440	450-1440	570-1360	220-1010
	30,500	1041	850	850	925	524
Acete y grasa	50000-5600					
	5340					
Cromo total	0.05	4	0.04	0.05	NI	0.013
Fenol	1.50	0.5	0.04	0.27	NI	0.12
Sulfuro	0.20	0.1	2.72	0.2	NI	NI
Color (ADMI)	2000	500-1700	325	400	600	600
pH (unidades)	6-9	6-11	7-11	6-9	6-9	7-12

NI: No existe información disponible

NOTA: Todos los datos anteriores, excepto el color y el pH, están indicados en mg/l; se dan intervalos y valores medios.

5.13.2 AGUA EN LAVADORES DE AIRE EN LA INDUSTRIA TEXTIL

MANTENIMIENTO DEL LAVADOR DE AIRE

Los lavadores de aire se detienen periódicamente para controlar los serios problemas de ensuciamiento y depósitos que ocurren. La frecuencia de los paros y de los lavados dependen del tipo de proceso textil que se esté desarrollando y de la severidad del problema. Pueden hacerse semanalmente en algunas plantas, mientras que en otras pueden ser aceptables los intervalos de 3-6 semanas entre lavados.

El alto grado de recirculación en los lavadores de aire conduce a diversos problemas de agua, entre los que se hallan la formación de lama, los depósitos, la corrosión y los olores. La mayor parte de casi todos los depósitos es microbiana (masas de lama). La actividad microbiana produce una lama pegajosa que se combina con la tierra, con los productos de la corrosión y con material cristalino para formar depósitos duros incrustados sobre el nivel del agua y gruesas masas pegajosas bajo el agua sobre las superficies metálicas del lavador. El control del crecimiento microbiano en un sistema de agua helada, o en uso de lavado de aire, es la clave para un programa de tratamiento efectivo. El crecimiento microbiano también causa olores, remanentes, incrustación y corrosión bajo los depósitos. El aceite y otras materias orgánicas recogidos del aire de la planta proporcionan alimento para estos microbios. Aunque puede lograrse cierta eliminación del aceite con filtros de aire, el aceite estará presente en el lavador.

Los remanentes causados por la espuma o por crecimiento biológicos en las cuchillas de los eliminadores interrumpen el flujo de aire y permiten que los sólidos pasen a los ductos de la planta. Esto puede causar diversos problemas en la planta, que van desde el manchado de producto hasta la interrupción de los controles de temperatura y humedad. También puede causar un daño severo a los ductos de la planta. Casi todos los ductos de las plantas textiles contienen una estera de malla y fibra. Cuando ésta se humedece, se le incrusta la tierra presente en el agua del lavador y puede haber una fuerte corrosión.

La corrosión es sumamente grave en los lavadores de aire y en

los sistemas de agua helada de las plantas textiles. Las láminas de los tubos y los cabezales de los enfriadores son los áreas más vulnerables. La tierra, la fibra, el aceite y los depósitos microbiológicos se combinan en algunos casos cubriendo de lama por completo áreas de las láminas de los tubos. Bajo los depósitos de esta naturaleza ocurren picaduras severas.

La corrosión dentro de las unidades de lavado de aire puede ocurrir en cualquier estructura de acero suave.

5.13.3 PLANES DE ACONDICIONAMIENTO DE AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

La selección de biocidas y dispersantes efectivos es, por lo general, el punto de partida al desarrollar un programa de tratamiento de agua para lavadores de aire y sistema de agua helada. El control de la corrosión está estrechamente relacionado con la efectividad del microbicida y la del dispersante. No hay respuestas sencillas a la selección de un inhibidor de corrosión para sistemas de lavado de aire y de agua helada debido a las diferencias entre las plantas textiles. La parte más importante del control de la corrosión consiste en mantener limpio el sistema.

La carga estática en la fibra textil según va pasando ésta a través de los varios procesos textiles, tiene mucho que ver con su eficiencia. Por ejemplo, de un almacén frío, las fibras estarán cargadas negativamente y se pega suavemente en una mecha de hilo. Las fibras que desarrollan una carga negativa demasiado grande en las máquinas de hilar están sujetas a rupturas excesivas. Pueden usarse compuestos de amonio cuaternario para controlar cargas estáticas en el aire porque tienen los beneficios de ser buenos biocidas y también agentes limpiadores.

Las instalaciones de generación de vapor en una planta textil suelen ser bastante simples. El condensado no constituye, en general, más de 25% de agua alimentada total. Las calderas son casi siempre de baja presión y el vapor se usa rara vez para generar energía, excepto en las plantas integradas más grandes.

El tratamiento del efluente puede ser muy complicado debido a los residuos de productos químicos presentes en el agua de desecho cruda. La contención dentro de la planta y las modificaciones al

proceso son cada vez más necesarias para cumplir con las restricciones a los efluentes.

El gran estanque de igualación está diseñado para equilibrar cambios en la composición y en la temperatura y para reducir la carga de calor en el tanque de aereación. En algunas plantas, la presencia de desechos fuertes (cáustico mercerizado, tintes, agentes aprestadores) requieren segregación y tratamiento separado de estas corrientes. Se ha usado carbón activado como parte del tratamiento cuando los colorantes son un problema.

5.13.4 EL AGUA EN EL LAVADO DE LA LANA

Los residuos del lavado de la lana constituyen un producto con gran capacidad de polución integrado por una emulsión de polvo y bacterias en agua con jabón y proteínas complejas como agentes emulsionantes. Puede esperarse que el lavado de 100 kg. de productos dé lugar a 125 kg de residuos. Se encuentran presentes una gran cantidad de compuestos orgánicos y nitrogenados en solución, y puede recuperarse lanolina, mediante un tratamiento adecuado.

Entre los métodos de tratamiento de estos residuos figuran, la coagulación y la sedimentación y el tratamiento con ácidos. Se han ensayado muchos coagulantes, pero los de uso más común son el cloruro de calcio, el cloruro de calcio con anhídrido carbónico, y el hipoclorito de calcio. El tratamiento con ácido sulfúrico rompe la emulsión y precipita la grasa, después de lo cual se se para para descargarla sobre lechos de desecación. Después de la desecación, el lodo graso se somete a filtración a presión, con calor, y puede refinarse posteriormente.

Puede necesitar un nuevo tratamiento ácido, es muy ácido pero de buen aspecto, puede necesitar un nuevo tratamiento, antes de su evacuación definitiva. Es preferible neutralizarlo con cal y dejarlo sedimentarse, después de lo cual suele poder evacuarse sin tratamiento posterior. Pueden seguirse otros métodos para la recuperación de la lanolina, como la centrifugación, o la difusión de aire a través de un tanque de poco fondo, donde se vierta el residuo, recogiendo la espuma grasa que se forma. Ninguno estos mé

todos es tan eficaz para la recuperación de la grasa o para la obtención de un buen efluente, como el método de tratamiento por ácidos, pero, en algunos casos, pueden resultar más económico el tratamiento con cloruro de calcio. Ha producido reducciones de la demanda bioquímica de oxígeno del 70 por ciento y obtenciones de grasa de más de 90 por ciento.

Las instalaciones de lavado de la lana pueden regularse, en general, de modo que haya muy poca descarga de residuos líquidos y que la cantidad de los mismos, cuya naturaleza dificulte su tratamiento para la evacuación final, sea muy pequeña.

5.13.5 AGUA EN LA PREPARACION DE PIELES

El proceso del curtido requiere el lavado, el remojo, el escurrido y el acabado de las pieles bajo diversas condiciones y con distintos productos químicos obteniéndose en muchas de las fases del proceso cierta cantidad de residuos perjudiciales de diversos colores, putrescibles y de mal olor.

Entre los residuos del proceso suelen figurar: (1) el agua de lavado de las pieles en verde; (2) los residuos de los tanques de lavado de los pisos de los locales de limpia; (4) los líquidos residuarios de la aplicación del tanino y las aguas de limpia de los tanques en los patios donde se colocan las pieles en capas; (5) el líquido en exceso cuando se sacan de los tanques de aplicación del tanino; (6) escurrimiento de los tanques de lavado y pequeñas cantidades de aguas de lavado, y (7) ácidos y álcalis procedentes de los tanques de blanqueo.

Todos los residuos son alcalinos, con excepción del ácido de blanqueo, el agua del blanqueo, y el líquido residuario de la aplicación del tanino. Los residuos intermitentes son los más difíciles de tratar; proporcionan aproximadamente tres cuartas partes de la demanda bioquímica total de oxígeno, mientras que los residuos continuos proporcionan dos tercios del volumen total **y solo un cuarto del DBO.**

El líquido residuario del tanino y los tres líquidos de blanqueo contienen la mayor parte de la materia colorante.

La mayor parte de los autores aunque no todos, han llegado a -

la conclusión de que el mejor método para tratar los residuos de tenería es combinarlos y tratarlos por precipitación pasándolos después por filtros de escurrimiento, filtros de humus o filtros de arena. La coagulación y la sedimentación de los residuos combinados, con descarga uniforme del efluente clarificado, constituye en muchos casos un tratamiento combinado con aguas negras domésticas. Cuando se desee lograr una eliminación de color en alto grado es eficaz la separación de los líquidos residuales de la aplicación de tanino vegetal y su evacuación por evaporación o almacenamiento en estanques. Como fase final puede aplicarse el tratamiento químico y la filtración. El lodo resultante puede desecharse en lechos de arena o en filtros de vacío. Se ha comprobado que puede dar resultados satisfactorios el almacenamiento del lodo en estanques. En ciertos casos, puede ser más económico separar los residuos de modo que aquellas partes susceptibles de tratamiento biológico se desvíen del proceso de precipitación mezclándose con el efluente de esta, para formar el líquido de entrada a un filtro de escurrimiento.

CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS DE TENERIA

Tipo de Residuo	Sólidos en 1 000 mg/l		En sus penSIón.	En sus volátiles Cenizas BOD		
	Total	Solubles		Volátiles	Cenizas	mg/l pH
Sumersión	15	13.5	1.5	1.23	0.27	1 200 6.6
Encalado	26	18.8	7.2	1.2	1.4	2 770 11.6
Lavado todos los tipos						
remojo	4.4	4.3	0.11	0.32	0.12	410 8.2
curtido	61.2	60	1.24	0.59	5.53	790 2.4
Tanino vegetal	18.4	17.1	1.29	1.50	0.34	5 500 5.0
Tanino al cromo	76.8	74.8	1.99	1.58	6.10	618 3.2
Coloración y engrasado	2.46	2.01	0.45	0.06	0.18	472 3.9

5.13.6 AGUA EN EL LAVADO DE TELAS

Los residuos de las lavanderías no suelen crear grandes problemas de evacuación, porque generalmente están suficientemente diluidos para no ejercer efectos marcados en las instalaciones de trata

miento. Los residuos no diluidos son turbidos, jabonosos, alcalinos, y contienen colorantes, grasa y polvo, procedentes de las ropas lavadas. "los residuos de las lavanderías, solos o mezclados con aguas negras, pueden tratarse de modo fácil y económico, en cualquier grado, por los métodos físicos, o biológicos conocidos, o por medio de combinaciones y procesos mejorados de tales métodos".

Cuando sea necesario un tratamiento, debe empezarse por regular el pH, mediante el empleo de ácido sulfúrico y precipitación.

RESIDUOS DE LAVANDERIAS

Relación	Toneladas de ropa sucia por día diariamente	Residuos en miles de litros por ton	Kilogramos por tonelada			
			BOD	Sólidos en Suspensión	Nitrógeno Total	Grasa
Media	9.3	56	45.3	24.0	0.8	15.4
Máxima	22	84	76.1	41.2	1.1	19.0
Mínima	3.2	42	25.4	11.8	0.3	12.6

El pH debe llevarse a 2.6 si se usa cal y a 7.0 si se emplea alumbre. A veces se han tratado los residuos de lavandería mediante flotación de coagulantes floculados que "adsorben y arrastran los sólidos en suspensión o coloidales" de tal modo que se ha podido recuperar un 87% del agua para utilizarse de nuevo en la lavandería.

5.14 AGUA EN LA INDUSTRIA METAL-MECANICA

La contaminación del agua que se produce como resultado de la actividad de la industria metal-mecánica es, con pocas excepciones, generalmente, similar a la que se deriva de la actividad de las otras industrias y su problemática es semejante. La diferencia más importante en el control del agua contaminada como subproducto de la industria metal-mecánica en comparación con otros procesos de elaboración y fabricación, estriba en la gran variedad de los productos residuales metal-mecánicos. Por ejemplo, una planta de fabricación de pulpa y papel puede plantear un problema constante y continuo sobre el tratamiento del agua contaminada cuyos límites y controles se pueden determinar, siendo posible establecer las salvaguardas adecuadas.

Por lo general, se dispone de seis sistemas diferentes para la eliminación de los residuos líquidos generados por la industria. Estos son:

1. Sistemas de alcantarillado para los residuos domésticos.
2. Sistemas de tratamiento para los residuos industriales.
3. Lechos percoladores
4. Sistemas para el drenaje del agua de lluvia.
5. Inyección de pozos profundos.
6. Contratos de transporte.

No existen códigos o disposiciones uniformes para controlar la cantidad permitida de contaminación del agua que puede ir a parar a los sistemas locales de eliminación de las aguas residuales. Las disposiciones, en la forma en que existen en la actualidad, --vienen dictadas por una serie de factores, tales como: la población y la densidad industrial, la existencia de sistemas municipales o públicos de alcantarillado, puntos finales de descarga del agua residual, tablas de aguas subterráneas y tipos de contaminación producida. Como eliminación de las aguas contaminadas se lleva a cabo por la adopción de medios, tales como sistemas para aguas de lluvia y de drenaje superficial, complejos para la eliminación de residuos domésticos, tierra de percolación y pozos profundos de inyección.

Las nuevas industrias o las modificaciones de los procesos de producción dentro de las plantas ya existentes no pueden servirse

de las instalaciones municipales disponibles, generalmente porque ya se encuentran excesivamente sobrecargadas. En esas circunstancias, los ingenieros deben acudir a otros medios para la eliminación de las aguas residuales contaminadas.

5.14.1 PROCESOS PARA ELIMINAR EL AGUA DE DESECHO

a) Transporte.- Las plantas pequeñas que tienen cantidades poco importantes del efluente, generalmente, encuentran más económico y conveniente pagar el transporte y la eliminación del agua.

b) Inyección en pozos profundos.- Cuando la concentración, la toxicidad y la complejidad del tratamiento, así como las excesivas cantidades de agua contaminada, hacen prohibitiva desde el punto de vista económico cualquier sistema de eliminación en la superficie de la tierra que reúna las condiciones adecuadas. Antes de que tal método se considere practicable, hay que llevar a cabo una investigación para determinar la profundidad que debe tener el pozo. La profundidad de inyección se determina teniendo en cuenta varios factores:

1. Capacidad del estrato subterráneo para poder aceptar el flujo previsto.
2. La naturaleza de las capas subterráneas para evitar la posibilidad de que se produzcan obturaciones.
3. Determinar el pretratamiento que necesitan los residuos, si es que necesitan algunos, para prevenir la corrosión y la desoxidación.
4. Una encuesta geográfica para eliminar la posibilidad de que las aguas potables existentes en las proximidades del pozo de inyección sean contaminadas y controles para una vigilancia constante de las aguas potables adyacentes.

La profundidad de los pozos de inyección puede variar entre 500 y 2,500 pies. Para determinar la economía de este método de eliminación hay que tener en cuenta el costo inicial de la perforación, de las tuberías que van desde el lugar de almacenamiento de las aguas residuales hasta la entrada con el pozo y los costos de funcionamiento de la bomba.

c) Estanques artificiales.- La utilización de lagunas artificiales como estanques de sedimentación puede dividirse en dos ti

pos:

1. Los que permiten la percolación en la tierra del contenido líquido de los sólidos disueltos.
2. Los que necesitan un estanque de sedimentación para conseguir la precipitación por acción de la gravedad, de las sustancias en suspensión sin que se produzca percolación.

En el primer caso hay que tener cuidado en llevar a cabo estudios para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. Este método para eliminación de las aguas residuales presupone que la naturaleza del suelo sea tal que acepte y elimine el líquido residual a buen ritmo. La sustancia sólida en suspensión contenida en el agua residual que se elimina de esta manera no debe ser de tal naturaleza que haga imposible la percolación en caso de que se usen los estanques intensamente.

Los estanques que tienen revestimiento, o que han sido contruidos a base de tierra impermeable, presentan otros problemas que hay que tener en cuenta. Tales estanques exigen una limpieza frecuente de los sólidos precipitados o en suspensión y únicamente son útiles si el líquido, una vez limpio, puede volver a ser utilizado. Un fallo frecuente de estos estanques consiste en que la sedimentación de las sustancias sólidas generalmente se produce a un ritmo muy lento después de que aparentemente el agua está totalmente clara. Si los sólidos disueltos que quedan permiten que el agua clarificada pueda ser utilizada de nuevo, se la hace salir, permitiéndola que rebose bajo control.

Si el volumen de agua que va a parar a los estanques o lagunas es muy grande y el período de retención que se necesita es largo, el tamaño de las zonas de sedimentación se puede convertir en un gran problema desde el punto de vista económico. Frecuentemente resulta posible la disolución del agua de las lagunas para ser utilizada de nuevo, lo que consigue añadiéndole aguas superficiales o de lluvia. Si incluso entonces el agua diluida no resulta aceptable para su reutilización, el grado de disolución obtenido mediante este método puede hacer que el efluente resulte, sin embargo, aceptable para los sistemas locales de alcantarillado y de recogidas de aguas de lluvia. De nuevo hay que decir que, según

sea la naturaleza de los contaminantes, las lagunas y los estanques hacen que mediante la administración de una dosis controlada de sustancias puedan eliminarse los residuos sólidos utilizando otros medios.

PRECIPITADORES CLARIFICADORES

Menos de 1 por 100 del agua que se necesita tiene que ser -- reemplazada mensualmente, lo que se debe a las pérdidas por evaporación y a los escapes de agua residual de los precipitadores y filtros. La única fuente de contaminación consiste sobre todo en pequeñas briznas de metal y en aceites abrasivos sulfonados.

5.14.2 ENSUCIAMIENTO CONSTANTE DEL AGUA.

Muchos métodos permiten recuperar el agua (que en otro caso tendría que ser desechada) hasta un punto tal que es posible su neutralización. El método seleccionado dependerá del tipo y de la concentración de los contaminantes y del grado de purificación que se necesita para el uso específico que tiene que cumplir el agua recuperada. Una investigación de los requisitos que tiene que cumplir el agua utilizada en la planta puede esclarecer las posibilidades de reemplazo del agua residual tratada o diluida en aquellos procesos en los que la calidad del agua que se necesita es progresivamente decreciente. En el funcionamiento de cualquier planta es deseable la aplicación de métodos adecuados sobre el uso, reúso y conservación del agua. De aquí que haya que prestar gran atención a la necesidad de reducir el volumen del agua residual que se tenga que eliminar.

Incluso en aquellas zonas en las que el costo del agua municipal es un factor de menor importancia, merece la pena considerar y estudiar los medios de que se dispone para reducir las cantidades de agua potable que la planta debe recibir como medida para conseguir la disminución de los costes de eliminación residual. Solamente una pequeña parte del agua potable utilizada por las industrias metal-mecánica es consumida de hecho. El agua consumida es aquella que se incorpora al producto final, la que se pierde por evaporación y la que se desagua procedente de los tanques de lavado y enjuagado. La totalidad del agua utilizada se descarga como agua contaminada, cuyo grado de contaminación varía. De aquí que

el costo de eliminación del agua residual se encuentre estrechamente vinculado a la posibilidad de hacer economías en la planta.

Cada proceso, presenta un problema concreto de conservación del agua. Un estudio global del funcionamiento total de la planta revelará que existen muchas zonas en las que se pueden tomar medidas para conseguir una conservación adecuada del agua. El agua potable que se vierte de las camisas de refrigeración de los compresores se puede volver a utilizar como agua de suministro o de lavado en uno o más procesos para la gravación, el desprendimiento y la anodización de los metales. A su vez, el agua final de enjuagado que se vierte puede ser utilizada en procesos de intercambio de calor o puede ser desviada para emplearla en operaciones de depuración. Evidentemente, un volumen de agua utilizado en varios procesos de fabricación no solamente hace que se reduzcan las necesidades globales de agua potable, sino que (y ello es más importante) disminuyan los problemas y los costos de tratamiento del efluente, así como su conducción y su eliminación final.

Esto es especialmente cierto en el caso del agua que se utiliza para ser suministrada a las calderas. La solución más económica, en lo que se refiere a la reducción de la contaminación se encuentra en la buena administración del agua en todas sus fases. Una investigación de cualquier planta de producción, sin duda alguna, mostrará aquellas zonas en las que se podría iniciar la aplicación de medidas correctivas y reducir así los costos.

MATERIAL TIPICO DE LOS PROCESOS MATERIAL

1.-LAVADO

A) Aluminio

Disolvente
Alcalino
Acido fosofórico
Acido nítrico
Acido crómico
Acido sulfúrico
Fosfato sódico
Altrex
Oakita
Diversey
Limpiador Electro
Disolvente
Acido muriático
Fosfato sódico

B) Acero

- Acido crómico
 Acido Clorhídrico
 Acido sulfúrico
 Cianuro de plata
 Cianuro de potasio
 Carbonato potásico
 Cianuro sódico
 Hidróxido sódico
 Oxido de cadmio
 Carbonato sódico
 Cianuro cuproso
 Sales Rochelle
 Polisulfuro de Sodio
 Estanato potásico
 Peróxido de hidrógeno
 Acido crómico
 Acido sulfúrico
 Sales de cromo
 Sulfuro de Níquel
 Cloruro de níquel
 Acido bórico
 Permanganato potásico
 Carbonato sódico
 Hidroxido de sodio
 Acido nítrico
 Acido fluorhídrico
 Disolventes
 Alcalino
 Disolvente
 Bicromato sódico
 Hidroxido sódico
 Oakita
 Alcalino
 Disolventes
- C) Acero inoxidable
- D) TITANIO
- E) MAGNESIO
2. Chapado
- A) Aluminio Bicromato sódico
3. Acido crómico
- B) Acero
- C) Acero Inoxidable Acido nítrico
 Bicromato sódico
 Acido Fluorhídrico
 Acido nítrico
- D) Titanio
4. Revestimiento
- A) Alozine 0500
 Acido crómico
 Acido nítrico
 Acido sulfúrico
 Iridita H14
 Bicromato sódico
 Acido sulfúrico
- B) Acero
- C) Acero inoxidable
- D) Titanio
- E) Magnesio

Aunque estos procesos por su propia naturaleza necesitan grandes volúmenes de agua, el problema más importante de contaminación y eliminación aparece en las diversas fases de enjuagado que se necesitan a continuación de cada uno de estos procesos.

En el cuadro general de la industria metal mecánica el problema más grande de tratamiento y eliminación del agua contaminada se encuentra en el campo del acabado de la superficie de los metales. La utilización del agua abarca a algunos de los siguientes procesos:

1. Pasivación
2. Baño ácido
3. Prevención de la corrosión
4. Desprendimiento
5. Separación
6. Gravación
7. Revestimiento
8. Chapado
9. Anodización

En los procesos de enjuagado se pueden conseguir considerables ahorros de agua, escalonando la utilización del efluente según las diversas exigencias de pureza que precise cada enjuagado.

El agua que se suministra inicialmente entra en el último tanque de enjuagado (el cuarto), y lo que desagua para progresivamente al tercero, al segundo y al primero. Este método permite añadir a cada tanque el agua que procede del tanque anterior y que está menos contaminada. Como consecuencia de ello no se necesita más que un 25 por 100 del agua que sería precisa en caso de que hubiera que añadir agua nueva a cada instante.

E) SISTEMAS SIN REUSO DE AGUA UTILIZADA

El funcionamiento de los sistemas que utilizan una sola vez el agua resulta básicamente más costoso que el de aquellos que utilizan varias veces la misma una vez que ha sido refrigerada. El agua que se utiliza una sola vez en los procesos, generalmente, no puede ser descargada en las plantas municipales o en las plantas de eliminación de residuos de origen doméstico.

El agua caliente a la que no se ha añadido oxígeno supone una carga volumétrica para las plantas de eliminación a base de cieno

activado. La falta de contenido de oxígeno en los fluidos y la temperatura elevada del agua inicia el crecimiento de sulfato que produce bacterias, originando concentraciones diluidas de ácidos que dañan el sistema de recogida de residuos domésticos. Un sistema de recirculación generalmente implica la utilización de una torre de refrigeración, y únicamente el agua residual de las purgas se descarga en los sistemas sanitarios de alcantarillado. Se consiguen otros ahorros, en lo que se refiere a los costos de funcionamiento, como consecuencia del empleo de serpentines en las torres de refrigeración con la misión de separar el calor procedente de otros intercambiadores térmicos.

5.14.3 DOS EJEMPLOS

Conjunto industrial metal-mecánico, que funciona en California.

El agua cruda suministrada a la planta proviene de dos fuentes: 1) de canales abiertos que pertenecen a una compañía de utilidad pública, y 2) de pozos profundos situados en las propiedades de la empresa. Solamente se puede bombear una cantidad suficiente de agua de los pozos profundos cuando se requiere un volumen excepcional de la misma durante los períodos de drenaje o en los momentos en que se trabaja a pleno rendimiento.

La mayor cantidad de agua se utiliza durante los períodos en que los motores a propulsión se someten a prueba. En dichos momentos se emplea principalmente como agua de refrigeración para las placas deflectoras de la llama. El agua que rebosa se mide de vez en cuando por un aparato situado a la salida de la zona de pruebas y, al mismo tiempo, se toman muestras, continua y automáticamente, que son analizadas, y el agua se trata, si resulta necesario, antes de soltarla a un arroyo de origen natural que discurre a través de los terrenos de la fábrica. Durante el tiempo de retención, el nivel térmico del efluente tiene la oportunidad de estabilizarse. En la mayoría de los casos estos hace desaparecer cualquier problema de ajuste a los niveles federales de contaminación térmica. Corriente abajo, con respecto al punto de entrada de agua residual en el arroyo, se ha construido un acua-

rio al que se suministra agua de dicho arroyo. Periódicamente se comprueba el crecimiento y la salud de los peces para estar seguros de que el agua no contiene ninguna sustancia dañina para la vida acuática. El arroyo también va a parar el desagüe de una planta para la eliminación de residuos completamente integrada que se sirve del método de cieno activado. Los residuos líquidos se airean, se clarifican y se clorifican. Se lleva a cabo una vigilancia continua de la descarga líquida procedente de la planta antes de que entre en el manantial para determinar la eficiencia de la misma en la reducción de la NBO y para evaluar el grado de desinfección conseguido.

Después de que todas las aguas residuales han entrado en el arroyo, se bombea todo el agua a los estanques de retención, donde se retiene hasta que un análisis confirma su ajuste a los patrones exigidos para su descarga.

El efluente residual procedente de operaciones que no permiten su tratamiento para ser descargado en el arroyo se bombea a un pozo subterráneo de inyección profunda. Se hacen muestreos en varios sitios del terreno que posee la fábrica para eliminar la posibilidad de producir la contaminación de las corrientes subterráneas como consecuencia de las sustancias que se arrojan a los pozos de inyección profunda.

Otra gran planta metal-mecánica en la misma zona que produce piezas para aviones, ha resuelto el problema de la eliminación de sus aguas residuales de una manera muy original: haciendo desaparecer prácticamente la necesidad de tener que eliminar ninguna cantidad de agua contaminada.

Toda el agua que se utiliza en los procesos, que no sea la empleada en las torres de refrigeración, se desmineraliza previamente. El agua residual de los procesos es obligada a pasar a un sumidero común, que actúa como un estanque de recogida para la totalidad de la planta. Del sumidero se bombea hasta un tanque de almacenamiento y de allí pasa a unos filtros de antracita. El agua que sale de los filtros pasa por unos intercambiadores iónicos y se almacena en unos tanques de 50.000 galones de capacidad, de los cuales es suministrada de nuevo a los sistemas de alimentación de los procesos que requieran agua.

Antes de la instalación de este sistema, unos 160.000 galones diarios de agua contaminada procedentes de los procesos iban a parar a unos estanques de tratamiento y, cuando se les consideraba aceptables, se les bombeaba al sistema municipal de alcantarillado. En el momento actual únicamente se tratan y van a parar al sistema de alcantarillado unos 5.000 galones semanales.

Se estima que el coste de la planta podrá ser amortizado aproximadamente en cinco años, debido a la reducida toma de agua potable que se hace y a lo poco que se supone el coste del tratamiento del efluente residual.

5.14.4 TOLERANCIA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Las zonas industriales tienen códigos con disposiciones encaminadas a evitar que se sobrecarguen los sistemas sanitarios de alcantarillado y que se produzcan descargas que contengan cantidades excesivas de sustancias que puedan resultar dañinas para el funcionamiento de las plantas de eliminación de los residuos domésticos, producir daños a las tuberías o al equipo de eliminación y presentar peligros de incendio.

Sustancias cuya descarga en los sistemas sanitarios de alcantarillado generalmente se considera como no aceptable:

1. Cantidades excesivas de agua.
2. Sustancias inflamables
3. Sólidos solubles
4. Sustancias tóxicas
5. Residuos fuertemente olorosos
6. Aceite y grasa
7. Residuos de pH inferior a seis
8. Derivados de la hidracina
9. Tetraóxido de nitrógeno
10. Compuesto de fluor y de boro
11. La mayor parte de los cromatos
12. Líquidos no aceptables. a menos que su temperatura sea superior a 140° F.
13. Residuos de agua de lluvia que no sean aceptables para el sistema de recogida de aguas de este origen.

14. Agua limpia.

Se impondrán limitaciones especiales cuando sea necesario. El criterio que habrá que tener en cuenta para ver si la descarga es aceptable consistirá en determinar si ésta aumentará los costos de la planta y si se la considera adecuada para ser eliminada como el resto de residuos de origen doméstico.

Se estima que un flujo de un gps cuesta 600 dólares/día a una instalación para la eliminación de residuos domésticos.

5.15 AGUA EN LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO

En una operación llamada proceso Bayer la baxita cruda es digerida con soluciones cáusticas a temperaturas tan elevadas como 475° F (250°C) y presiones de hasta 500 psi (35 kg/cm²). para producir una lechada que contiene aluminato de sodio y unos sólidos de desecho suspendidos que se llama lodo rojo. Para permitir una recuperación eficiente así como una reducción del desperdicio, el lodo rojo es separado del licor disuelto por sedimentación o por filtración usando floculantes naturales y sintéticos para producir una solución clara de aluminio de sodio.

El lodo rojo proveniente de la primera etapa de separación se vuelve a poner en suspensión con licor débil durante una operación de lavado para extraer más del contenido de aluminio y álcali. En la práctica más común se usa una decantación continua a contra corriente (DCC) donde puede haber hasta siete etapas de lavado para recuperar casi todo el contenido significativo de alúmina y álcali. El desecho de lodo rojo se descarga finalmente en un gran lago de lodo (estanque de colas).

Después de la filtración, el licor concentrado, rico en aluminato de sodio, es enfriado pasándolo a través de cambiadores de calor hasta aproximadamente 120-140° F (50-60°C) antes de enviarlo a los tanques de precipitación. En estos, se añaden cristales de siembra de trihidrato de alúmina previamente precipitada y se agita durante uno o dos días. Esto hidroliza el aluminato para formar trihidrato de alúmina (hidróxido de aluminio) que crece sobre el material de siembra. El proceso se mantiene hasta que más o menos la mitad del contenido de alúmina ha sido convertido. Si

la precipitación se lleva más lejos puede arrastrar un exceso de impurezas, como la sílice. La lechada de trihidrato de alúmina se envía entonces a los tanques de clarificación y espesamiento para separar el trihidrato del licor gastado. El trihidrato es filtrado y calentado para producir alúmina anhidra. Después de la separación de los cristales de trihidrato, el licor gastado es concentrado por evaporación y retornado al principio del circuito.

El agua entra a la corriente del proceso sobre todo como vapor o como condensado. Se puede introducir una pequeña cantidad de agua como agua de reemplazo purificada para preparar reactivos del proceso, como floculantes o soluciones limpiadoras. Agua de lluvia y aguas superficiales de desecho soluciones limpiadoras, pueden entrar al proceso como aguas de retorno del lago, lodo. En el enfriamiento del equipo, así como en el del producto terminado alúmina, se usa agua de enfriamiento que no este en contacto directo. Esta agua puede provenir de fuente externa o del lago de lodo.

Una vez dentro de la corriente del proceso, el agua es usada una y otra vez, como solventes, para transportar calor o lechada, para lavar impurezas, para crear vacío, para generar electricidad y para preparar soluciones de reemplazo.

Un consumo importante de vapor se presenta en los tanques de digestión donde el contenido de alúmina del mineral se disuelve. Cuando se alivia la presión en los tanques instantáneos el vapor de baja presión es liberado con su potencial de calentamiento. Este se usa para calentar el licor gastado antes de mezclarlo con la bauxita fresca en el digestor, con lo que se recircula calor en un circuito cerrado. Entre otro de los usos que se da al vapor de los tanques digestores instantáneos está el de concentrar el li cor gastado en los evaporadores.

Las corrientes de agua de lavado varían en composición según sea la pureza requerida del producto. Se usa condensado para lavar el precipitado en los filtros de trihidrato con el fin de eli minar impurezas residuales. Para lavar el trihidrato espesado an tes de enviarlo al separador de agua por filtración, puede usarse la misma agua de lavado y otro condensado. El condensado que exce

da la cantidad requerida para la generación de vapor puede emplearse en el lavado del lodo rojo junto con el agua de retorno del lago de lodo.

El agua de retorno del lago de lodo proviene tanto del desborde del espesamiento por gravedad como del influjo de agua de lluvia. La cantidad varía según las condiciones locales. El agua contiene un baja concentración de alúmina y caústico de la lixiviación del lodo. Continúa hacia el último espesador anterior. Habiendo aumentado su contenido en alúmina y caústico, el agua se une al lodo del segundo lavado previo y así sucesivamente a través del circuito. Según va progresando a lo largo del tren de lavado, su contenido en alúmina y caústico aumenta en forma correspondiente. Finalmente se une con la descarga parcialmente enfriada del digestor donde se logra el aumento final de su contenido en alúmina. Este proceso de decantación a contracorriente se ha diseñado para obtener una recuperación económica de tanta alúmina y alcali como sea posible.

Además de su uso como un disolvente efectivo, el agua sirve para transportar sólidos de unidad a unidad dentro del proceso. Esto incluye no sólo la lechada de bauxita sino también el trihidrato y el lodo rojo. Proporciona también el medio para la molienda del mineral de bauxita como enfriador de contacto de los vapores en general, así como de los condensadores barométricos, permite tanto la extracción del agua condensada necesaria como la concentración de las corrientes de proceso. El uso de agua en estos condensadores barométricos puede alcanzar hasta 5 000-10 000 gal/ton de producto (20-40 m³/ton). Debido a la economía del proceso la mayoría de las corrientes efluentes del proceso unitario de contacto se convierte en corrientes de alimentación intermedia para las otras unidades. Las corrientes que no son de contacto representan más una pérdida de calor que de sus constituyentes. Estos contenidos de calor se recuperan siempre que resulta práctico. Aunque no se planean descargas importantes, el agua puede perderse en alguna de las siguientes áreas de producción

1. Secado y calcinación
2. Lodo rojo (la evaporación y percolación de los lagos o la retenida como parte del contenido local del lodo).

3. Evaporación de las corrientes de licor
4. Disposición de arenas.
5. Evaporación de la corriente de agua de lavado.

Para controlar las emisiones al aire hay campanas colocadas sobre cada celda y se aplica succión para extraer los gases estos gases se hacen pasar a través de lavadores húmedos para eliminar tanto la materia gaseosa como las partículas. Como el contenido de fluoruros en la corriente gaseosa es valioso, el agua de lavado se refuerza frecuentemente con agentes reactivos como el aluminio de sodio para producir diversas mezclas de fluoruros de sodio y de aluminio, los que pueden ser regresados al baño después de concentrarlos y secarlos.

Para el control de las emisiones atmosféricas en la planta de procesamiento de los electrodos algunas veces se usan lavadores húmedos y el agua de lavado se convierte en una parte importante de la carga total de tratamiento de desechos.

Después de la reducción del aluminio el metal se moldea ya sea en un proceso continuo o en uno convencional en moldes sobre un piso de fundición. En las unidades de moldeo continuo se usa agua para enfriar los moldes. Se requiere agua de mucha mejor calidad en la operación. En agua de enfriamiento puede ser recuperada en torres enfriadoras de evaporación, con lo que los sistemas pueden presentar problemas porque el agua contiene con frecuencia agentes aceitosos empleados para el desmoldeo. Estos materiales proveen alimento para los microbios haciendo difícil mantener el sistema de enfriamiento libre de lama y de otras masas microbianas.

Después del moldeo, los lingotes son enfriados por rocío de agua y en algunos casos el sistema es diseñado para producir un rocío muy fino, de modo que el agua se evapore por completo a sequedad sin dejar agua de desecho residual que tenga que llevarse a un sistema de tratamiento. Si se requiere de un exceso de agua, ésta contendrá sólidos suspendidos y aceite y requerirá de tratamiento para su disposición.

Hay muchas otras aplicaciones para el agua de enfriamiento en la planta de reducción. Entre ellas está el agua para enfriar

el aceite hidráulico, los ánodos y las compresoras. La planta recibe energía eléctrica de una instalación cercana de alto voltaje reducido es convertida entonces por rectificadores de arco de mercurio a corriente directa.

Se necesita agua de enfriamiento para los componentes del --rectificador. También puede necesitarse agua de enfriamiento para las compresoras de cloro que se usan para proporcionar gas cloro para el desengrasado del aluminio fundido.

El lingote de aluminio es transformado en una gran variedad de formas, incluyendo láminas, planchas, elementos estructurales, varillas y barras, tubos, alambre y hojas. Algunas de éstas pueden ser estiradas calentando el metal a la temperatura en que se vuelve plástico, pero el grueso de la producción se hace por laminado.

Se aplica agua de enfriamiento a los rodillos para mantener la temperatura apropiada para el laminado y con frecuencia se aplican aceites lubricantes (llamados aceites de laminado) al sistema para facilitar el laminado e impedir el desarrollo de imperfecciones en la superficie, las que pueden ser causadas por la --fricción debida al trabajo a través de los rodillos. El agua de enfriamiento de los rodillos es recirculada y los desechos de la operación de laminado se dejan asentar; se cuenta con instalaciones que permiten la recuperación del aceite de laminado siempre que esto sea posible.

Además del agua de enfriamiento usada en los rodillos, también puede requerirse de agua para enfriar las puertas de los --hornos, así como para operaciones propias de servicios como el enfriamiento de la chaqueta de la compresora y los cojinetes.

Algunas formas fabricadas pueden ser acabadas por un tratamiento especial, como el anodizado de la lámina del tubo de aluminio por tratamiento con ácido crómico. Estas operaciones de acabado pueden generar desechos que requieren un tratamiento por separado antes de ser descargados en la planta de tratamiento final de desechos.

CONCLUSIONES

PRIMERA.- El agua es uno de los elementos más importantes para la vida del hombre, e indirectamente indispensable para el desarrollo de la tecnología, encaminada a aumentar el bienestar humano.

SEGUNDA.- Los organismos Federales y Estatales de aguas tendrán que considerar con mas importancia en sus planes y programas, la tendencia que hay, hacia mayores y más contaminados efluentes. Esto, debido al incremento en los suministros y al aumento en la concentración de residuales de los efluentes; generado esto último, por el crecimiento de la demanda de bienes y servicios de una población en aumento, que crece más rápidamente que el incremento en los suministros.

Por lo cual, es indispensable, obligadamente la construcción de Obras de Ingenieria Civil que puedan satisfacer capacidades adecuadas de servicio en los Sistemas Hidráulicos.

TERCERA.- Existe cada vez menos agua potable "natural" y cada vez serán necesarios mayores volúmenes de agua "potabilizada".

CUARTA.- Mejorar niveles generales de vida, implica necesariamente mejorar niveles de calidad del agua, por lo que se requiere aumentar la supervisión, y mejorar los procesos actuales.

QUINTA.- Incrementar el bienestar de la población implica también incrementar cuantitativamente las dotaciones de agua que se le proporciona, para lo cual, son requeridas muchas obras que si bien se estan realizando, muchas otras aún no han comenzado.

SEXTA.- Dentro del conjunto de obras faltantes en el país dentro del ámbito aquí analizado, hacen falta: Plantas de Pretratamiento a suministros, mejores sistemas de distribución, -- modernizar y ampliar sistemas de recolección, así como construir plantas de tratamiento de efluentes tanto municipales como industriales.

SEPTIMA.- Una de las mejores medidas para elevar los índices

de salud en zonas suburbanas es una mayor inversión de capital en obras de tratamiento en el final de los sistemas de recolección.

OCTAVA.- Existen plantas a las que no se encuentra conectado en su totalidad el sistema de recolección de aguas de las ciudades, por lo que es conveniente, complementar dichos sistemas y aumentar así los caudales que llegan para ser tratados, en lugar de evacuarlos a los canales y ríos.

NOVENA.- En las zonas urbanas, para hacer más eficientes los procesos de tratamiento; es conveniente empezar a instalar, en aquellas ciudades donde su precipitación media anual la favorezca, drenajes separados para aguas pluviales y aguas utilizadas. La inversión es cuantiosa, pero redituable en el largo plazo.

DECIMA.- Hacen falta la realización de más proyectos de irrigación para muchas zonas agrícolas aledañas a diversos municipios. Algunos proyectos de este tipo pueden generarse a partir de la utilización del líquido regenerado en plantas de tratamiento.

DECIMO PRIMERA.- Es necesario en la planeación de proyectos de plantas, tener un estudio, lo mas realista posible, del aumento en los volúmenes a tratar e influentes recibidos, para evitar proyectos constructivos que eleven el costo del metro cúbico producido, al haber sido el proyecto en ocasiones muy grande y generalmente mas pequeño, de lo que en realidad se necesitaba.

DECIMO SEGUNDA.- En la planificación de sistemas de suministro, distribución y recolección de agua, se recomienda como directriz de orientación: La tendencia, hacia el reciclado del agua, tomando como razones básicas: El aumento en la demanda total de dotación, y; el descenso de niveles de producción, originado por la sobreexplotación en muchas de las zonas acuíferas.

DECIMO TERCERA.- Deberá ser motivo de un análisis económico exhaustivo, enfocado al mediano y largo plazo, las decisiones entre una mayor reutilización del agua y el tener que trans-

portar esta desde cuencas de muy distintas altitudes y exageradamente lejanas.

DECIMO CUARTA.- El problema de la escasez del agua responde no solo a aspectos cuantitativos y técnicos. Sino también, a otros de carácter cultural. Por lo cual indirectamente, para tener mas agua, hay que generar en la población, por medio de las debidas campañas, una mayor conciencia sobre el uso racional del agua.

DECIMO QUINTA.- En muchas zonas costeras con escasez de agua potable podrían realizarse proyectos de suministro a través de agua desalada.

DECIMO SEXTA.- Los procedimientos de desalación de agua por medio del ciclo de congelación ha demostrado ser más eficaz por sus bajos consumos energéticos respecto a los tradicionales por evaporación. Por esto último son altamente recomendables.

DECIMO SEPTIMA.- Las técnicas de desalación ofrecerán en el mediano plazo, precios bajos que elevarán la competitividad de los suministros de agua a partir de agua marina.

DECIMO OCTAVA.- Los nuevos procesos de ozonización han demostrado ser mas eficientes y económicos que los de cloración. Por lo que, en plantas nuevas de algunos países comienzan a emplearse; y por lo cual puede ser de gran interés el utilizarlos.

DECIMO NOVENA.- Es necesario la optimización de los procesos actuales de tratamiento y acondicionamiento, con el enfoque, de realizar las operaciones en tiempos menores.

VIGESIMA.- El desarrollo y reconversión industrial libera y liberará a las aguas nuevos tipos de contaminantes que es y sera necesario considerar.

VIGESIMA PRIMERA.- Es conveniente una mayor automatización y computarización de las plantas existentes, pues esto hará crecer su rendimiento.

VIGESIMA SEGUNDA.- En las industrias el agua debe estar acondicionada a los requerimientos de los procesos que la usan, y no desviarse de la tolerancia establecida, ni con más ni -

menos, pues el desviarse fuera del rango indicado, elevará --
costos.

APENDICE A

SUSTANCIAS USADAS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA

CUAGULACION

SULFATO ALUMINICO: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Nombre común: alumbre para -- filtración. Envase: sacos, barriles y granel (en vagón completo). Materiales de manejo: estado seco: hierro, acero; en solución: plomo, caucho, hierro siliciado, asfalto. Formas comerciales: color-marfil; polvo, granulado, terrones. Peso g/dm^3 : 609-721, 961-1009, 993-1073. Solubilidad $g/litro$ 503 a $15.6^\circ C$. Concentración comercial: 15-22% Al_2O_3 . Caracteres: pH de solución al 1% 3.4.

SULFATO ALUMINICO AMONICO: $Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$. Nombre común: alumbre amónico, alumbre cristalizado. Envase: sacos, barriles, granel. Materiales de manejo: Duriron, plomo, caucho, hierro siliciado, cerámica. Formas comerciales: Terrones, nueces, guisante, polvo; Peso g/dm^3 : 1025-1089, 993, 1041, 961. Solubilidad, $g/litro$ 36 a ($0^\circ C$), 995 a $100^\circ C$. Concentración comercial: 11% Al_2O_3 . Caracteres: pH de solución al 1% 3.5.

BENTONITA: Nombre común: arcilla coloidal, vikiníta. Envase: sacos. Materiales de manejo: hierro y acero. Forma comercial: Polvo y pastillas. Tamaños: de varios. Peso (g/dm^3). 961. Insoluble y se usa en solución coloidal.

CLORURO FERRICO: a. $FeCl_3$ (Solución de 35-45%) Nombre común: "Ferrichlor", cloruro de hierro. Envase: garrafones, camiones, vagones tanques. Materiales de manejo: vidrio, caucho, cerámica, resinas sintéticas; Formas comerciales: Líquido pardo oscuro. Solubilidad: completa. Concentración comercial: 37-47% $FeCl_3$ 12-17% Fe. b. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ Nombre común: cloruro férrico cristalizado. Envase: Barriles. Forma comercial: Terrones pardo amarillentos. Concentración comercial: 59-61% $FeCl_3$; 20-21% Fe. Caracteres: Higroscópico. Terrones y polvo, en envase herméticos. No se carga en seco. pH: entre 4.0 y 11.0 c. $FeCl_3$. Nombre común: cloruro férrico anhidro.-

Envase: barricas y cubetas. Forma comercial: Polvo verde negro co. Concentración comercial 98% FeCl_3 ; 34% Fe.

SULFATO FERRICO: $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ Nombre común: "Ferriloc". --- "Ferrsul" Envase: sacos y tambores. Materiales de manejo: Cerámica, plomo, plástico, caucho, acero inoxidable 18-8. Formas comerciales polvo o gránulos de color rojo pardo. Peso g/dm^3 : 1121-1153. Soluble entre 2 a 4 partes de agua fría. Concentración Comercial: 90-94% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; 25-26% Fe caracteres: algo higroscópico, en el almacén; pH óptimo, 8.5-11.0 es coagulante en pH entre 3.5 a 11.0.

SULFATO FERROSO: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Nombre común: caparrosa, vitriolo verde. Envase: sacos, barriles y a granel. Materiales de manejo: asfalto, concreto, plomo, estaño, madera. Formas comerciales: cristales verdes, gránulos y terrones. Peso g/dm^3 1009 a 1057. Concentración comercial: 55% FeSO_4 20% Fe. Caracteres: -- higroscópico; se apelmaza en el almacén; pH óptimo entre 8.5 y 11.

SULFATO MAGNESICO: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Nombre común: sal de Epsom. Envase: sacos, tambores y a granel. Materiales de manejo: Hierro y caucho. Formas comerciales: cristales bancos y escamas. Peso g/dm^3 : 1009 Solubilidad g/litro : 719 a 20°C.

SULFATO ALUMINICO POTASICO: $\text{K}_2\text{SO}_4\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$. Nombre común alumbre potásico. Envase: sacos, barriles y a granel en vagones. Materiales de manejo: Plomo, caucho revestido de plomo y cerámica. Formas comerciales: terrones, gránulos y polvo. Peso g/dm^3 : 993-1073, 961-1041, 961. Solubilidad g/litro : 60 a 0°C., 120 a 20°C. Concentración comercial: 10 a 11% Al_2O_3 . Caracteres: Solubilidad baja, uniforme; pH de una solución al 1% 3.5.

ALUMINATO SODICO: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Nombre común: alumbre sódico. Envase: sacos, tambores y en solución. Materiales de manejo: hierro plástico, caucho y acero. Formas comerciales: cristales blancos o amarillos verdosos y líquido. Peso g/dm^3 : 801-961; - Solubilidad-

g/litro: 360 a 20°C. Concentración comercial 55% Al_2O_3 , 35% Na_2O , 5% exceso NaOH; 32% Al_2O_3 , Na_2O , 10% NaOH. Características: necesita agitación en la tolva para la alimentación en seco.

SILICATO SODICO: Na_2SiO_3 Nombre común: Vidrio soluble. Envase: tambores y a granel en camiones tanques y vagones tanques. Materiales de manejo: hierro colado, caucho y acero. Forma comercial: Líquido viscoso opaco. Soluble completamente. Concentración comercial: 38 a 42%. Características: pH de solución al 1% 12.3.

DESINFECCION

SULFATO ALUMINICO AMONICO: $Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$. Nombre común alumbre amónico, alumbre en cristales. Envases: sacos, barriles y a granel. Materiales de manejo: Duriron, plomo caucho, hierro siliciado y cerámica. Formas comerciales: Terrones, nueces, guisantes y polvo. Peso g/dm^3 1025-1089, 993, 1041, 961. -- Solubilidad g/litro 36 a 0°C. 995 a 100°C. Concentración comercial: porcentaje variable de Al_2O_3 . Caracteres: pH de solución al 1%, 3.5.

CLORURO AMONICO: NH_4Cl Nombre común: sal amoníaco. Envases: cubetas, barriles, y barricas. Materiales de manejo: hierro y caucho. Formas comerciales: terrones blancos y cristales. Caracteres: higroscópico, se volatiliza.

SULFATO AMONICO: $(NH_4)_2SO_4$. Nombre común: sulfato de amonio. Envase: sacos. Materiales de manejo del producto en estado seco: cerámica, plásticos, caucho y hierro. Formas comerciales: cristales blancos o pardos. Solubilidad g/litro 681. Concentración comercial: 1009 a 20°C. Caracteres: se apelmaza al cargarlo en seco; Mezclado con $CaSO_4$ corre fácilmente.

AMONIACO ANHIDRO: NH_3 . Nombre común: amoníaco. Envase: cilindros. Materiales de manejo: vidrio, hierro, monel, níquel y acero. Forma comercial: gas incoloro. Solubilidad (g/litro): 967 a 0°C., -372 a 15.6°C. y 216 a 51.7°C. Concentración comercial: 99 a 100% de NH_3 .

AMONIACO ACUOSO: NH_4OH . Nombres comunes: Agua amoniacal, hidrato amónico e hidróxido amónico. Envases: Garrafones, tambores y vagones tanque. Materiales de manejo: Vidrio hierro, monel, níquel y acero. Formas comerciales: líquido incoloro. Soluble completamente. Concentración comercial: 29.4% de NH_3 .

HIPOCLORITO CALCICO: $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Nombre común: "HTH", "Perchloron", "Pittch". Envases: botes y tambores. Materiales de manejo: vidrio, caucho, cerámica y madera. Formas comerciales: Polvo y granulos negros. Peso g/dm^3 : 841. Concentración comercial: 70% de Cl_2 ; Caracteres: solución usada, 1-3% Cl_2 activo.

CAL CLORADA: $\text{CaO} \cdot 2\text{CaOCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Nombre común: polvo de blanqueo, -- cloruro de cal. Envase: tambores. Materiales de manejo: vidrio, caucho, cerámica y madera. Formas comerciales: polvo o gránulos negros. Peso g/dm^3 : 769. Concentración comercial: 25-37% de Cl_2 activo; Caracteres: alterable.

CLORO: Cl_2 . Nombre común gas cloro, cloro líquido. Envases: Cilindros, tanques de 1 tonelada y vagones tanques de 16 y 30 toneladas. Materiales de manejo: Gas seco; hierro, cobre y acero; -- Gas húmedo: vidrio, caucho duro, plata. Formas comerciales: Gas líquido bajo presión. Peso g/dm^3 1469. Solubilidad g/litro : 8.4 a 15.6°C. Concentración comercial: 99.8% de Cl_2 .

DIOXIDO DE CLORO: ClO_2 . Nombre común: dióxido de cloro. Materiales de manejo: Plásticos y caucho blando (pero no el caucho duro). Forma comercial: Gas amarillo rojizo. Solubilidad g/litro : 2.4 (30 mm). Concentración comercial: 26.3% de Cl_2 activo.

OZONO: O_3 . Es producido en el sitio de aplicación. Materiales de manejo: aluminio, cerámica y vidrio. Forma comercial: Gas incoloro.

CLORITO SODICO: NaClO_2 . Nombre común: clorito sódico técnico. Envase: tambores. Materiales de manejo: metales (evítense los materiales celulósicos): Formas comerciales: Polvo anaranjado, claro y escamas del mismo color. Concentración comercial: 82% NaClO_2 , - 30% Cl_2 activo. Caracteres: genera ClO_2 a pH 3.0.

HIPOCLORITO SODICO: NaOCl. Envases; garrafones, camiones tanque- de 1,300 y 2,000 gal. Materiales de manejo: cerámica, vidrio, -- plásticos y cauchos. Formas comerciales: Líquido amarillo claro. Concentración comercial: 12 a 15% de Cl₂ activo.

PROFILAXIS

ACIDO FLUOSILICICO: H₂SiF₆. Envase: Tambores revestidos de caucho. Material de manejo: Acero revestido de caucho. Forma comercial: - Líquido. Solubilidad: 144 a 20°C. Concentración comercial: 35%.

FLUORURO DE HIDROGENO: HF. Nombre común ácido fluorhídrico. Enva- ses: tambores de acero y vagones tanques. Material de manejo: -- Acero. Forma comercial: Líquido. Concentración comercial: 70%. - Caracteres: Por debajo de concentraciones de 60% no puede usarse el acero..

FLUORURO SODICO: NaF. Nombre común: fluoruro. Envases: sacos, ba- rriles, tambores de fibra y cubetas. Materiales de manejo: Hie-- rro, plomo y acero. Formas comerciales: polvo blanco a azul Nilo ligero y denso. Peso g/dm³ 801, 1202. Concentración comercial: - 90 a 95% NaF. Caracteres: pH de solución al 4%, 6.6.

SILICOFLUORURO SODICO: Na₂SiF₆. Nombre común: fluosilicato sódico. Envases: sacos, barriles y tambores de fibra. Materiales de- manejo: Hierro, plomo y acero. Formas comerciales. Polvo blanco, blanco-amarillento a azul nilo. Peso g/dm³: 1153. Solubilidad: - 3.6 a 0°C., 7.2 a 22.2°C., 14.4 a 65.6°C. Concentración comer--- cial: 99% Na₂SiF₆. Caracteres: pH de solución al 1%, 3.5.

CONTROL DE INCRUSTACION Y CORROSION.

FOSFATO DISODICO: Na₂HPO₄ · 12H₂O. Nombres comunes: fosfato sódico ácido y fosfato sódico dibásico. Envase: cubetas, sacos y barriles. Materiales de manejo: Hierro colado y acero. Forma comer- cial: cristales. Peso g/dm³ 961 a 1025. Solubilidad g/litro: - - 47.9 a (0°C.), 767.0 a (30°C). Concentración comercial: 19-19.5% P₂ O₅. Caracteres: Precipita Ca y Mg; pH de solución al 1%, 9.1.

HEXAMETAPOSFATO SODICO: $(\text{NaPO}_3)_6$. Nombres comunes: "Calgon" y fosfato vítreo. Envase: sacos. Materiales de manejo: Caucho duro, -- plásticos y acero inoxidable. Formas comerciales: Cristales, escamas y polvo. Peso g/dm^3 : 753. Solubilidad g/litr : 120-503. Concentración comercial: 66%, P_2O_5 . Caracteres: pH solución 0.25%, - 6.0-8.3.

HIDROXIDO SODICO: NaOH . Nombres comunes: sosa cáustica y lejía de sosa. Envases: tambores y a granel (camiones, vagones tanques). - Materiales de manejo: Hierro colado, caucho, acero. Formas comerciales: Escamas, terrones y líquido. Solubilidad g/litr : 288 - - (0°C .), 527 (20°C). Concentración comercial: 98.9% NaOH , 74-76% - Na_2O . Caracteres: sólido higroscópico; pH de sol. 1%, 12.9.

SILICATO SODICO: $\text{Na}_2\text{O SiO}_2$. Nombre común: Vidrio soluble. Envase: tambores y a granel (camiones tanques, vagones tanques). Materiales de manejo: Hierro colado, caucho y acero. Formas comerciales: líquido viscoso opaco. Solubilidad completa. Caracteres: pH solución de 1%, 12.3.

SULFITO SODICO: Na_2SO_3 . Nombre común: Sulfito. Envases: sacos y - barriles. Materiales de manejo: Hierro colado y acero. Forma comercial: polvo. Peso g/dm^3 : 1281-1458. Solubilidad (g/litr): 144 (0°C .), 276 (55.6°C). Concentración comercial: 93-99%, Na_2SO_3 . Caracteres: Elimina O , pH solución de 1%, 9.8.

ACIDO SULFURICO: H_2SO_4 . Vitriolo, aceite de vitriolo. Envases: -- frascos, garrafones, tambores, camiones y vagones tanques. Materiales de manejo: Concentrado.- Hierro, acero; diluido.-vidrio, - plomo, porcelana, caucho. Formas comerciales: en solución. Solubilidad g/litr : completamente. Concentración comercial: 77.7% H_2SO_4 y 93.2% H_2SO_4 . Caracteres: pH de solución 1%, aprox. 1.2. --

PIROFOSFATO TETRASODICO: $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Nombres comunes: pirofosfato sódico alcalino, TSPP. Envase: cubetas, sacos y barriles. Materiales de manejo: Hierro colado, acero. Formas comerciales: Polvo blanco. Peso g/dm^3 : 1089. Solubilidad g/litr : 72 (26.7°C .), -

(100°C). Concentración comercial: 53% P_2O_5 . Caracteres: pH de solución 1%, 10.8.

FOSFATO TRISODICO: $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$. Nombres comunes: Fosfato sódico-normal, fosfato tribásico de sodio, TSP. Envases: cubetas, sacos y barriles. Materiales de manejo: Hierro colado y acero. Formas comerciales: cristales. gruesos, medianos, corrientes. Peso g/dm^3 : 897, 929, 977. Solubilidad (g/litro): 12 (0°C). Concentración comercial: 19% P_2O_5 . Caracteres pH de solución 1%, 11.9.

ABLANDAMIENTO.

HIDROXIDO CALCICO: $Ca(OH)_2$. Nombres comunes: cal hidratada y cal apagada. Envases: sacos, barriles y a granel (vagones completos). Materiales de manejo: Asfalto, cemento, hierro, caucho y acero. Formas comerciales: Polvo blanco.- ligero y denso. Peso g/dm^3 416-769, 641-1121. Solubilidad g/litro: 1.7. (20°C.), 1.4 - (33.3°C). Concentración comercial: 85-99% $Ca(OH)_2$ 63-73% CaO . Caracteres: Necesita agitación en la tolva el polvo ligero.

OXIDO CALCICO: CaO . Nombre común: Cal viva. Envases: sacos, barriles y a granel (vagones completos). Materiales de manejo: terrones, grano grueso, gránulos. Peso g/dm^3 : 801-1041, 961-1041, 801-1121. Solubilidad: Genera escamas de cal hidratada. Concentración comercial: 75-99% CaO . Caracteres: pH de solución saturada, 12.4. Tiempo de detención, temperatura y cantidad de agua; Factores críticos para el apagado eficiente.

CARBONATO SODICO: Na_2CO_3 . Nombre común: sosa. Envase: sacos, barriles y granel (vagones completos). Materiales de manejo: hierro, caucho y acero. Formas comerciales: Polvo blanco.- muy ligero, ligero y denso. Peso g/dm^3 : 368, 561, 1041. Solubilidad g/litro: 180 (20°C). 276 (30°C). Concentración comercial: 99.4% Na_2CO_3 , 56% Na_2O . Caracteres: Agitación de la tolva para las formas ligeras y muy ligera, pH de solución al 1%, 11.2.

CLORURO SODICO: $NaCl$. Comúnmente llamado: sal común, sal. Envases: Sacos, barriles, y a granel (vagones completos). Materiales de manejo: Bronce, cemento, caucho. Formas comerciales: Sal fina. Peso g/dm^3 801-961, 919-1121. Solubilidad g/litro: 348 (0°C.);

(0°C.); 360 (20°, 30°C). Concentración comercial: 98% NaCl.

CONTROL DE SABOR Y OLOR.

CARBON ACTIVADO: "Agua Nuchar", "Hydrodarco", "Norita". Envases: sacos y a granel. Materiales de manejo: En seco.- Hierro y acero; En Húmedo.- Caucho, hierro siliciado, acero inoxidable. Forma comercial: Polvo granular negro. Peso g/dm³: 240. Solubilidad g/litro: insoluble (se usa la suspensión).

CLORO: Cl₂. Envase: cilindros, tanques de 1 ton. Vagones tanque - de 16 y 30 ton. Materiales de manejo: Gas seco.- Hierro, cobre -- acero; Gas húmedo.- vidrio, caucho duro, plata. Formas comerciales: Gas líquido bajo presión. Peso g/dm³. 1469. Solubilidad g/litro: 8.4 (15.6°C.), 4.8 (37.8°C). Concentración comercial 99.8% - Cl₂.

SULFATO CUPRICO: CuSO₄ 5H₂O. Nombres comunes: Sulfato de cobre, - vitriolo azul, piedra azul. Envases: sacos, barriles y tambores.- Materiales de manejo: Asfalto, hierro siliciado y acero inoxidable. Formas comerciales: Cristales, terrones, polvo. Peso g/dm³: - 1201-1442, 1169-1281, 961-1025. Solubilidad g/litro 192 (0°C); -- 312 (30°C). Concentración comercial 99% CuSO₄.

OZONO: O₃. Es producido en el sitio de aplicación. Materiales de manejo: Aluminio, cerámica y vidrio. Formas comerciales: Gas incoloro.

BISULFATO SODICO: Na₂S₂O₅. Nombre común: Metabisulfato sódico. En vase: tambores. Materiales de manejo: Cerámica, cromo, vidrio, -- plomo, níquel y caucho. Formas comerciales: Polvo. peso g/dm³. -- 1185-1362; Solubilidad g/litro: 539 (20°C.); 815 (100°C.) 93% --- Na₂S₂O₅ 62% SO₂ caracteres: pH de solución 1 & 4.6.

CLORITO SODICO: NaClO₂. Envase: tambores. Materiales de manejo: - Metales (evitense los materiales celulósicos). Formas comerciales: Polvo o escamas de color anaranjado claro. Concentración Comercial 82%. NaClO₂ 30% de Cl₂ activo; Caracteres: Genera ClO₂ a pH 3.0.

TIOSULFATO SODICO: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Nombre común: Hiposulfato. Envase: tambores. Materiales de manejo: Hierro colado, acero de bajo-carbono y cerámica. Formas comerciales: Cristales, grano grueso, polvo, granular. Peso: g/dm^3 1025-1041, 1121, 977. Solubilidad - g/litro 743 (0°C). Concentración comercial 98-99% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

DIOXIDO DE AZUFRE: SO_2 . Nombre común: gas sulfuroso. Envase: cilindros. Material de manejo: Acero. Forma comercial: Gas incoloro. Concentración comercial 100% SO_2 .

DIOXIDO DE CLORO: ClO_2 . Materiales de manejo: plásticos y caucho-blando (evitese el caucho duro). Forma. comercial: Gas amarillo-rojizo. Solubilidad g/litro 2.4 (30 mm). Concentración comercial-26.3% de cloro activo.

APENDICE B

457

Factores de conversión para los parámetros definitorios de los procesos unitarios.

SISTEMA INGLES	FACTOR DE CONVERSION	SISTEMA INTERNACIONAL
<u>VOLUME</u>		
Gallons per day (gpd)	$\times 0.003785 \rightarrow$ $\leftarrow 264.20 \times$	Metros cúbicos por día (m^3/d)
Million gallons per day (mgd)	$\times 3785 \rightarrow$ $\leftarrow 0.0002642$	Metros cúbicos por día (m^3/d)
<u>CONCENTRATION</u>		
Milligrams per liter (mg/l)	$\times 1 \rightarrow$ $\leftarrow 1 \times$	Miligramos por litro (mg/l)
Indicator bacteria - per hundred milliliters (no./100 ml)	$\times 1 \rightarrow$ $\leftarrow 1 \times$	Número de bacterias en cien milímetros (n. ^o /100 ml)
BOD per capita (lb BOD/hd d)	$\times 0.454 \rightarrow$ $\leftarrow 2.205 \times$	DBO per capita (g BOD/hab/día)
<u>SCREENING</u>		
Cubic feet of screenings per million gallons of waste flow (cu ft/ml gal)	$\times 0.007482 \rightarrow$ $\leftarrow 133.65 \times$	Metros cúbicos de basuras por mil metros cúbicos de agua residual ($m^3/10^3 m^3$)
<u>GRIT REMOVAL</u>		
Surface overflow rate: gallons of flow per day per square foot of surface area (gpd/sq ft)	$\times 0.0017 \rightarrow$ $\leftarrow 588.2$	Carga de superficie: metros cúbicos por metro cuadrado y hora ($m^3/m^2 h$)
Displacement velocity: feet per second (fps)	$\times 0.3048 \rightarrow$ $\leftarrow 3.281 \times$	Velocidad de paso: metros por segundo (m/s)
Detention time: seconds (sec) or minutes (min)	$\times 1 \rightarrow$ $\leftarrow 1 \times$	Tiempo de detención: segundos (s) o mins. (min)
Air supply: cubic feet of air per minute per lineal foot of tank (cfm/lin ft)	$\times 5.574 \rightarrow$ $\leftarrow 0.17940 \times$	Suministro de aire: metros cúbicos de aire por hora y por metros lineal de tanque ($m^3/h/ml$)
<u>DESBASTE</u>		
<u>DESARENADO</u>		

SISTEMA INGLES

FACTOR DE
CONVERSION

SISTEMA INTERNACIONAL

Volume: cubic feet of grit per million gallons of waste flow (cu ft/mil gal)	x 0.007482 → ← 133.7 x	Volumen de arenas: metros cúbicos de arenas por mil metros cúbicos de agua residual ($m^3/10^3 m^3$)
Volume: cubic feet of grit per million gallons of waste flow - (cu ft/mil gal)	x 7.482 →→ ← 0.1337	Litros de arenas por mil metros cúbicos de agua residual ($l/10^3 m^3$)

SEDIMENTACIONSEDIMENTACION

Surface overflow rate: gallons of wastewater per day per square foot of sedimentation tank (gpd/sq ft)	x 0.0017 →→ ← 588.2	Carga de superficie: metros cúbicos por hora de agua residual por metro cuadrado de superficie del tanque de sedimentación ($m^3/h/m^2$)
Weir overflow rate: gallons of wastewater flow per day per lineal foot of weir length (gpd/lin ft)	x 0.0005174 →→ ← 1.93268 x	Carga sobre vertedero: metros cúbicos por hora por metro lineal de vertedero ($m^3/h/ml$)
Particle setting rate: feet per hour (ft/hr)	x 0.3048 →→ ← 3.281	Velocidad de sedimentación de las partículas: metros por hora (m/h)
Detention time: hours of detention in the setting tank (hr)	x 1 →→ ← 1 x	Tiempo de detención: horas de estancia en el tanque de sedimentación (h)
Volume of sludge cubic feet of sludge per million gallons of wastewater (cu ft/mil gal)	x 0.007482 →→ ← 133.7 x	Volumen de fango: metros cúbicos de fango por mil metros cúbicos de agua residual ($m^3/10^3 m^3$)
Weight of dry sludge solids: pounds of dry sludge solids per million gallons of wastewater flow (lb/mil gal)	x 0.92 →→ ← 8.333	Cantidad de materia seca en el fango: gramos de materia seca por metro cúbico de fango (g/m^3)
Sludge concentration: percentage of total solids in sludge (%)	x 1 →→ ← 1 x	Concentración del fango: porcentaje de sólidos totales en el fango (%)
Scraper speed: feet per minute (ft/min)	x 18.288 →→ ← 0.0546	Velocidad perimetral de las rasquetas: metros por hora (m/h)

ACTIVATED SLUDGE

Organic Load: pounds of x 0.016 --->
 BOD applied per day per <-- 6.250
 thousand cubic feet of -
 aeration tank volume ---
 (lb BOD/ day/1000 cu ft)

Organic load: pounds of x 1 --->
 BOD applied per day per <-- 1 x
 pound of mixed liquor vol
 atile suspended solids
 (MLVSS) under aeration -
 (lb BOD/day, lb MLSS)

Air requirements Organic x 0.0624 --->
 removal cubic feet of air <-- 16.03 x
 per pound of BOD removed
 (cu ft/lb BOD)

Air requirements. Volu-- x 7.452 --->
 men of wastewater; cubic <-- 0.133 x
 feet of air per gallon -
 of wastewater treated --
 (cu ft/gal)

Oxygen requirements; po-- 1 --->
 unds of oxygen per day per <-- 1 x
 pound of applied BOD
 (lb O₂/day/lb BOD)

Air flow rate; cubi feet x 1.699 --->
 per minute (cfm) <-- 0.5885 x

Oxygen transfer rate; po- x 16.03 --->
 unds of oxygen transferred <-- 0.0624
 per hour per volume of --
 wastewater aerated - - -
 (lb O₂/h/cu ft)

Oxygen transfer rates; po- x 0.6091 --->
 unds of oxygen transferred <-- 1.642 x
 per hour per horsepower -
 expended (lb O₂/hr/hp)

Aeration device mixing in- x 0.06 --->
 tensity; Diffused aeration <-- 16.66 x
 cubic feet of air per minu
 te per thousand cubic feet
 of tanq volume (cfm/1000 cu ft)

FANGOS ACTIVADOS

Carga volúmetrica: kg de
 DBO introducidos por día
 por metro cúbico de tan-
 que de aireación (kg DBO
 /día m³)

Carga másica: kilos de
 DBO introducidos por día
 por kilos de sólidos sus-
 pendidos volátiles (SSVLM)
 del licor mezcla en el -
 tanque de aireación (kg -
 DBO/día kg SSVLM)

Aportación de aire: por -
 carga orgánica eliminada;
 metros cúbicos de aire in-
 troducidos por Kg de DEC -
 eliminada (m³/kg DBO)

Aportación de aire: Por --
 volumen de agua residual -
 tratada; metros cúbicos de
 aire introducidos por metro
 cúbico de agua residual --
 tratada (m³/m³).

Aportación de oxígeno; Kg
 de oxígeno aportados por
 día y por Kg de DBO aplica-
 da (Kg O₂/Kg DBO)

Caudal de aire; metros cú-
 bicos de aire por hora ---
 (m³/h)

Transferencia de oxígeno;
 Kg de oxígeno transferido
 por hora por metro cúbico
 de tanque de aireación --
 (Kg O₂/h m³)

Transferencia de oxígeno;
 kg de O₂ transferido por -
 Kilowatio-hora consumido -
 (Kg O₂/KWh)

Capacidad de agitación del
 dispositivo de aireación;
 difusores; metros cúbicos
 de aire introducidos por -
 hora por metro cúbico de -
 tanque de aireación. - -
 (m³/h m³)

ACTIVATED SLUDGE

FACTOR DE
CONVERSION

PANGOS ACTIVADOS

Aeration device mixing in
tensity; Mechanical aera-
tions; Power expended per
thousand cubic feet of --
tang volume (hp/1000 cu ft)

x 26.32 -->
← 0.03799 x

Capacidad de agitación del
dispositivo de aireación;
Aireación por turbinas; --
wattos aplicados por metro
cúbico de tanque de airea-
ción (W/m³)

Trickling filters

Hydraulic loads gallons of x 0.0017 -->
wastewater flow per square ← 588.2 x
foot of horizontal area at
top of the media (gpd/sq ft)

← 588.2 x

Filtros percoladores

Carga hidráulica; metros cúbicos de agua residual --
aplicados por hora por me-
tro cuadrado de área super-
ficial de medio filtrante
(m³/h m²)

Organic load; pounds of BOD x 0.016 -->
per day per thousand cubic ← 62.46 x
feet of filter volume (lb BOD
/day/1000 cu ft)

← 62.46 x

Carga volumétrica; kg de -
DBO por día aplicada por -
metro cúbico de medio fil-
trante (kg DBO/día m³)

Specific surface loadings: -- x 0.0017 -->
Hydraulic; gallons of wag ← 588.2 x
teewater per day per actual
media surface area (gpd/sq ft)

← 588.2 x

Carga de superficie espe-
cífica; Hidráulica; metros
cúbicos de agua residual -
por día aplicado por super-
ficie filtrante total ex-
presada en metros cuadra-
dos (m³/día m²)

Specific surface loadings: x 4.887 -->
Organic; pounds of BOD - ← 0.2046
per day per actual media
surface area (lb BOD/day/
sq ft)

← 0.2046

Carga de superficie especí-
fica; Orgánica Kg de DBO -
por día aplicados por super-
ficie filtrante total ex-
presada en metros cuadrados
(Kg DBO/d m²)

Stabilization pounds

Organic load; pounds of - x 1.122 -->
BOD per day per acre of - ← 0.891 x
surface area (lb BOD/day-
/acre)

← 0.891 x

Estanques de estabilización

Carga orgánica; Kg de DBO
por día aplicado por hectá-
rea de tanque de estabili-
zación (Kg DBO/día ha)

Organic load; pounds of † x 48.67 -->
BOD per day per thousand ← 0.020 x
square feet of surface --
area (lb BOD/day/1000 sq ft)

← 0.020 x

Carga orgánica; Kg de DBO
por día aplicados por hectá-
rea de tanques de estabi-
lización (Kg DBO/día ha)

Volumetric loads: pounds - x 0.016 -->
 BOD per day per thousand feet of basin (lb BOD/day /1000 cu ft) ← 62.46 x

Chlorination

Dosage: milligrams of chlorine per liter of wastewater (mg/l) x 1 --> ← 1 x

Feed rate: pounds of chlorine per day (lb/day) x 0.454 --> ← 2.205 x

Sludge thickening

Solids loading: pounds of dry sludge fed per day per square feet of thickener (lb/day/sq ft) x 4.887 --> ← 0.2046

Air Solids ratio: pounds of air used per pounds of solids fed (lb/lb) x 1 --> ← 1 x

Sludge digestion.

Volatile solids (VS) loading: pounds of VS per day per thousand cubic feet of digester volumen. (lbVS/d/1000 cu ft) x 0.016 --> ← 62.46 x

Loading rate: pounds of BOD per day thousand feet digester volume (lb BOD/d/1000 cu ft) x 0.016 --> ← 62.46 x

Gas production: cubic feet of gas per pound of VS fed (cu ft/lb VS) x 0.0624 --> ← 16.03 x

Gas production: cubic feet of gas per capita (cu ft/cap) x 0.028 --> ← 36.314 x

Sludge drying beds.

Dry solids loading: pounds of dry solids per year per square foot of bed area (lb/yr/sq ft) x 4.887 --> ← 0.2046 x

Carga volumétrica: Kg de - DBO por día aplicados por metro cúbico de estanque - de estabilización (Kg DBO/día m³)

Cloración.

Dosis: miligramos de cloro por litro de agua de agua residual (mg/l)

Consumo de cloro: Kg de - cloro por día (Kg día)

Espesado del fango.

Carga de sólidos: Kgs de - materia seca aplicados por día y metro cuadrado de espesador (Kg/día m²).

Relación aire: sólido-Kilos de aire aplicados por Kilo de materia seca del fango (Kg/Kg)

Digestión del fango.

Carga de sólidos volátiles (SV): Kg de SV por día por metro cúbico de digester - (Kg SV/día m³)

Carga orgánica: Kg de DBO por día aplicados por metro cúbico de digester -- (Kg DBO/día m³)

Producción de gas: metros cúbicos de gas por Kg de SV aplicados (m³/Kg SV)

Producción de gas: metros cúbicos de gas per capita (m³/cap)

Eras de secado.

Carga de sólidos: Kg de materia seca aplicados por - año y por metro cuadrado - de era de secado. (Kg/año m²)

Dry solids loading: square foot of bed area per capita (sq ft/cap) $\times 0.0929 \rightarrow$ Carga de sólidos: metros cuadrados de era de secado per cápita (m^2/cap) $\leftarrow 10.76 \times$

Vacuum filtration.

Dry solids: pounds of dry solids per hour per square foot of filter surface (lb/hr/sq ft) $\times 4.887 \rightarrow$ Carga de sólidos: Kg de sólidos secos aplicados por hora y metro cuadrado de superficie filtrante. ($Kg/h m^2$) $\leftarrow 0.2046 \times$

Sludge feed: cubic feet of wet sludge applied per hour per square foot of surface area (cu ft/hr/sq ft) $\times 0.3048 \rightarrow$ Carga hidráulica: metros cúbicos de fango aplicados por hora y metro cuadrado de superficie filtrante. ($m^3/h m^2$) $\leftarrow 3.28 \times$

Heat drying.

Sludge cake heat requirements: heat energy required per pound of sludge cake (Btu/lb) $\times 0.555 \rightarrow$ Cantidad de calor: energía calorífica necesaria por Kg de torta de fango - - - (Kg cal/kg) $\leftarrow 1.60 \times$

Evaporation heat requirements: heat energy required per pound of water -- evaporated (Btu/lb) $\times 0.555 \rightarrow$ Evaporación: energía calorífica necesaria por Kilo de agua evaporada (Kcal/Kg) $\leftarrow 1.60 \times$

Evaporation rate: pounds of water evaporated per hour (lb/hr) $\times 0.454 \rightarrow$ Tasa de evaporación: Kg de agua evaporada por hora -- (Kg/h) $\leftarrow 2.205 \times$

Incineration.

Sludge feed: pounds of wet sludge per square foot of heating surface -- at a specified sludge dry solids content % (lb/hr/sq ft) $\times 4.887 \rightarrow$ Alimentación de fango: Kg de fango húmedo aplicados por metro cuadrado de superficie térmica con un contenido determinado de materia seca en % ($Kg/h m^2$) $\leftarrow 0.2046 \times$

Sludge feed: pounds of wet sludge per hour per cubic feet of combustion chamber at a specified sludge dry solids content % (lb/hr/cu ft) $\times 16.03 \rightarrow$ Alimentación de fango: Kg de fango húmedo aplicados por hora por metro cúbico de cámara de combustión con un contenido determinado de materia seca en % ($Kg/h m^3$) $\leftarrow 0.0624 \times$

Heat required: heat energy required per pound of moisture evaporated (Btu/lb) $\times 0.555 \rightarrow$ Cantidad de calor: energía calorífica necesaria por Kilo de humedad evaporada (Kcal/Kg). $\leftarrow 1.80 \times$

Incineración.

APENDICE "C"

Factores de conversión de unidades del sistema inglés.
al sistema internacional.

Sistema inglés	Factor de conversión	Sistema S.I.
Acre	$x 4046.724 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 2.471 \times 10^{-4} x$	m^2
Acre	$x 0.405 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 2471 x$	ha
Acre-FT	$x 1233.5 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 8.11 \times 10^{-4} x$	m^3
Btu	$x 1.055 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 0.9478 x$	KJ
Btu	$x 0.252 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 3.968 x$	Kg-cal
Btu/hr/sqft	$x 3.158 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 0.316 x$	$J/s \cdot m^2$
Btu/lb	$x 2.321 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 4.308 \times 10^{-4} x$	KJ/KG
Btu/lb	$x 0.555 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 1.80 x$	Kf-cal/Kg
bu	$x 0.03524 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 28.1 x$	m^3
cfm	$x 0.028 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 35.71 x$	m^3/min
cfs	$x 1.7 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 0.588 x$	m^3/min
cfs/acre	$x 4.2 \times 10^{-4} \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 2380.9 x$	$m^3/\text{min} \cdot m^2$
cfs/sq miles	$x 0.657 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 1.522 x$	$m^3/\text{min} \cdot Km^2$
cu ft	$x 0.028 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 35.314 x$	m^3
cu ft	$x 28.32 \xrightarrow{\text{-----}}$ $\xleftarrow{\text{-----}} 0.0353 x$	litros

Sistema inglés	Factor de conversión	Sistema S.I.
cu in	x 16.39-----> <-----0.061 x	cm ³
cu yd	x 0.75-----> <-----1.3709 x	m ³
O _F	0.555 (°F-32)-----> <-----1.8 (°C) + 32	°C
°C	más 273-----> <-----menos 273	°K
ft	<-----0.3048 x 3.23 x----->	m
ft-c	x 10.764-----> <-----0.929 x	lm/m ² o lx (lux)
ft-lb	x 1.356-----> <-----0.737 x	J
gal	x 3.785-----> <-----0.264	litros
ppb	x 10 ⁻³ -----> <-----1000 x	mg/l
ppm	aproximadament igual a	
pcf	x 16.02-----> <-----0.625 x	Kg/m ³
psf	x 0.02097-----> <-----47.92 x	N/mm ²
psf	x 4.88-----> <-----0.2048	Kg/m ²
psi	x 0.006895-----> <-----145.03 x	N/mm ²
gal	x 0.003785-----> <-----264.2 x	m ³
gpd/acre	x 0.9365-----> <-----1.068 x	m ³ /día Km ²
gpd/ft	x 0.0124-----> <-----80.65 x	m ³ /día m

Sistema inglés	Factor de conversión	Sistema S.I.
gpd/sq ft	x 0.0408-----> ←-----24.51 x	m ³ /día m ²
gpm	x 0.0631-----> ←-----15.85 x	dm ³ /s
gpm	x 0.0631-----> ←-----15.85 x	litros/s
gpm/sq ft	x 40.7-----> ←-----0.0245 x	l/min m ²
hp	x 0.7454-----> ←-----1.341 x	kW
hp-hr	x 2.684-----> ←-----0.372 x	MJ
in	x 2.54-----> ←-----0.3937	cm
lb (force)	x 0.2248-----> ←-----4.4482 x	N
lb (mass)	x 0.454-----> ←-----2.205 x	Kg
lb/day acre-ft	x 3.68-----> ←-----0.2717 x	g/día m ³
lb/1000 cu ft	x 16.0-----> ←-----0.0625 x	g/m ³
lb/day/acre	x 0.112-----> ←-----8.93 x	g/día m ²
lb/day/cu ft	x 16-----> ←-----0.0625 x	Kg/día m ³
lb/day/sq ft	x 4.880-----> ←-----2.05x10. ⁻⁴	g/día m ²
lb/ft	x 1.49-----> ←-----0.671 x	Kg/m
lb/mil gal	x 0.92-----> ←-----8.333 x	g/m ³
mil gal	x 3.785-----> ←-----2.64x10. ⁻⁴ x	m ³

Sistema inglés	Factor de conversión	Sistema S.I.
mgd	$\begin{matrix} \times 3785 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 2.64 \times 10^{-4} \times \end{matrix}$	$\text{m}^3/\text{día}$
mgd	$\begin{matrix} \times 0.0438 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 22.82 \times \end{matrix}$	m^3/s
mgd/acre	$\begin{matrix} \times 0.9365 \times 10^6 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 1.068 \times 10^{-6} \times \end{matrix}$	$\text{m}^3/\text{día m}^2$
mile	$\begin{matrix} \times 1.61 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 0.621 \times \end{matrix}$	Km
psi	$\begin{matrix} \times 0.0703 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 14.22 \times \end{matrix}$	Kg/cm^2
sq ft	$\begin{matrix} \times 0.0929 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 10.76 \times \end{matrix}$	m^2
sq in	$\begin{matrix} \times 645.2 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 0.00155 \times \end{matrix}$	mm^2
sq miles	$\begin{matrix} \times 2.590 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 0.3861 \times \end{matrix}$	Km^2
tons cortas	$\begin{matrix} \times 907 \text{-----} \rightarrow \\ \leftarrow \text{-----} 1.102 \times 10^{-3} \times \end{matrix}$	Kg

APENDICE "D"

EQUIVALENCIAS DE CONVERSION: VOLUMEN Y PRESION

Unidades de medida	galones (U.S.)	galones (imp)	pies cúbicos	Mts. cúbicos	litros	peso en aire 62°F (libras)	16.7° C kilogramos
Galones (U.S.)	1.	0.83268	0.13368	0.0037854	3.78533	8.32675	3.776953
Galones (imp)	1.20094	1.	0.16054	0.00454729	4.54596	10.	4.5359
Pies cúbicos	7.481	6.229	1.	0.028317	28.316	62.2884	28.25357
Mts. cúbicos	264.173	220.117	35.314	1.	999.	2,204.5628.	999.973
Litros	0.26418	0.21998	0.035315	0.001000028	1.	2.2046+	1.

Unidades de presión	Lbs por pulg. cuad.	Mercurio mm.	a 0° C. pulg.	Agua a 150° C. pulg.	pies	Kilogramos X cm. cuad.	atmósfera
Lbs x pulg. ²	1.	51.7147	2.036	27.70	2.309	0.07031	0.06804
Mercurio a 0° C., mm.	0.01934	1.	0.03937	0.5357	0.04464	0.0013596	0.001316
Mercurio a 0° C., pulg.	0.4912	25.400	1.	13.61	1.134	0.03453	0.03342
Agua a 15°C., pulg.	0.0361	1.867	0.07349	1.	0.08333	0.0361	0.002538
Agua a 15°C., pies	0.4332	22.3997	0.8819	12.	1.	0.03045	0.02947
Kilogramos por centímetro cuad.	14.22	735.559	28.96	294.05	32.84	1.	0.9678
Atmósferas.	14.696	760	29.92	407.14	33.93	1.0332	1.

Un galón (U.S.) contiene 4 cuartos (medida líquida) = 8 pintas (liq.) = 32 gills = 128 onzas (liq., U.S.). El galón imperial contiene 160 onzas (liq., imp.). Un acre-pie contiene 43,560 pies cúbicos = 325,872.36 gal. y equivale a 1.23349 Ha-dm.

APENDICE "E"

478

SOLUBILIDAD DEL OXIGENO DISUELTO.

Valores de saturación de oxígeno disuelto en agua dulce y salada expuesta - al aire seco conteniendo un 20.90% de oxígeno, bajo una presión total de -- 760 mm. de mercurio.

INTERVALO - DE TEMPERA- TURA° C	CONCENTRACION DE CLURURO, mg/l				
	0	5,000	10,000	15,000	20,000
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.98
11	11.08	10.49	9.992	9.35	8.80
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84
18	9.54	9.07	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.42	7.99	7.57	7.14
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.75
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13

APENDICE "F"

PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA.

Temperatura °C	Densidad $\text{kg/m}^3 \cdot 10^3$	Viscosidad $\text{N} \cdot \text{sm}^{-2} \cdot 10^{-3}$	Viscosidad cinemática $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	Tensión superficial $\text{N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-3}$	Presión de vapor $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 10^3$
0	0.999	1.786	1.787	75.7	0.610
5	0.999	1.513	1.514	75.0	0.872
10	0.999	1.303	1.304	74.2	1.227
15	0.999	1.136	1.137	73.5	1.705
20	0.998	1.001	1.003	72.7	2.338
25	0.997	0.890	0.892	72.0	3.168
30	0.995	0.798	0.984	71.2	4.245
35	0.994	0.722	0.726	70.5	5.626
40	0.992	0.654	0.659	69.6	7.381
45	0.990	0.598	0.604	68.8	9.662
50	0.988	0.547	0.553	67.9	12.345

G L O S A R I O .

ABSORCION: Es un proceso en el que un material (el absorbente) -- toma y retiene a otro (el absorbido) formando una solución homogénea. El proceso puede implicar la disolución física de un gas, - de un líquido o de un sólido en un líquido, o la reacción de un gas o un líquido o un sólido. La absorción puede también hacer referencia al proceso por el cual las moléculas de un gas, vapor, líquido o sustancias disueltas se adhieren a una superficie sólida por la acción de fuerzas físicas.

ACCION CATALITICA: Acción inicial que fomenta el inicio de una - reacción o que hace que la reacción se lleve a cabo más rápidamente.

ACIDEZ: Es la capacidad de un agua residual de neutralizar una - base. Esto se asocia normalmente con la presencia de bióxido de carbono, ácidos minerales y orgánicos y sales de ácidos fuertes - o bases débiles.

ACIDIFICACION: Proceso con el que se aumenta la acidez de un flujo agregándole ácido o CO_2 .

ACIDO: (carbono activado por lavado).

Es el carbono que ha sido puesto en contacto con una solución ácida con el propósito de disolver la escoria adherida al carbono activado.

ACIDO FLUOSILICICO: Combinación de fluoruro de silicio y ácido -- fluorhídrico con fórmula H_2SiF_6

ACIDO HIDROFLUOSILICICO: Acido derivado del ácido ~~hidro~~ fluosilícico.

ACIDULACION: Proceso en el cual se incrementa de modo ligero la acidez de un agua.

ACRE: Medida de superficie inglesa igual a 4840⁵ yardas cuadradas y equivalente a .405 hectáreas.

ACRE/PIE: Es un término usado en la medición del volumen de ---

agua que es igual a la cantidad de agua requerida para cubrir un acre de un pie de profundidad o 43,560 pies cúbicos.

2) Es un término empleado en el tratamiento de aguas residuales para medir el volumen de materia recogida por un filtro de goteo. Un acre/pie contiene 43,560 pies cúbicos de agua.

ACTIVADO: (carbono). Es el carbono que ha sido tratado con calor a alta temperatura a base de vapor o dióxido de carbono, adquiriendo por ello una estructura interna de partículas porosas. El área interna de la superficie del carbono granular activado se estima que es de unos 3,600 pies cuadrados por gramo.

ACTIVIDAD DE SUPERFICIE: Capacidad de las burbujas y la superficie espumosas para atrapar y adherir materiales pequeñas que se hayan disueltos.

ADSORCION: Es la adhesión de moléculas (de gas, líquido a la superficie de sólidos (carbonos granulares activados, por ejemplo) o de líquidos con los que se encuentra en contacto, formando sobre ella una capa de un grosor pequeñísimo.

AGENTE ACTIVO DE SUPERFICIE: Acondicionadores generadores de espuma que se adicionan a un líquido.

AGENTES TENSOACTIVOS DUROS: Acondicionadores a partir de calcio - magnesio o sulfatos que ayudaran como efecto a generar espuma y además aportará dureza al agua.

AGUAS FRESCAS: Aguas residuales con menos de 5 días de haber sido generadas.

ALBERCA: Parte interior e inferior de la carcasa de un filtro centrifugo de eje horizontal.

ALCANO: Nombre que suele darse a los hidrocarburos saturados de la serie grasa.

ALQUILFENOLICAS: resinas formadas a partir de alquilo y fenol y usadas para romper emulsiones.

ALQUILO: Radical con cadenas de alcano.

ALUMINA: Sedimentador constituido por sulfato de aluminio.

AMINAS: Cualquier clase de compuestos derivados del amoniaco por substitución del hidrógeno por uno o más radicales monovalentes de hidrocarburos.

AMORFO: Es la cualidad que representa en un compuesto la carencia de una forma geométrica y estructura molecular cristalina -- claramente definida y determinada.

ANISOTROPIA: Cualidad que le confiera a los compuestos la capacidad de tener varios índices de referencia.

ARTESA: Recipiente para contener y/o mezclar algo.

ARRASTRE: Son las gotitas de líquido de la bruma o de la niebla--arrastradas por el vapor de un líquido hirviendo o más frecuentemente de un líquido a través del cual pasan rápidamente burbujas de gas o vapor.

BALDEAR: Operación en la que se hace pasar agua limpia por la alberca de un filtro centrífugo de eje horizontal con la finalidad de expulsar residuos depositados.

BASICIDAD: Propiedad de los cuerpos que actúan como bases en las reacciones intermoleculares.

BENCENOSULFONICO: Dicese de un ácido, obtenido por la adición del ácido sulfurico sobre el benceno.

BREAKPOINT: Momento en el cual en una solución determinada a la que se le adiciona acondicionador empieza a separarse.

CALOR LATENTE: Es la energía calorífica que posee un cuerpo y -- que puede en un momento dado ser desprendible.

CALOR LATENTE DE VAPORIZACION: Es la energía calorífica que posee cuerpo y que puede facilitar el cambio de fase en una substancia de líquido a gas.

CARBOXILICO: Que contiene radicales carboxilos.

CARBOXILO: Radical monovalente $-CO_2H$ característico de los ácidos orgánicos.

CATALISIS: Fenómeno en el cual se acelera una reacción.

CATALITICO: Que produce catalisis.

CENTRADO: Efluente de un filtro centrífugo que contiene un mayor cantidad de partículas solidad que el influente.

COALESCENCIA: Acción a la cual con el auxilio de un acondicionador se aglutinan moléculas, para formar otras de mayor dimensión.

COALESCEDORES: Acondicionadores que fomentan la coalescencia.

COLADO: Líquido parcialmente clarificado producido por filtro centrífugo.

COLAS: Arcillas y/o arenas y/o gravas en suspensión carentes de mineral útil.

COLIFORME: Familia de bacterias patógenas.

COLOIDE: Es una mezcla de dos fases una sólida y otra líquida en la cual la fase sólida se encuentra dispersa en la fase líquida.

COMPLEJOS: (Moléculas) es una molécula o ión que contienen varios átomos y preferentemente unidos por enlaces con dos electrones.

COMPLEJO DE ABSORCION: Combinación de moléculas con capacidad para retener materiales que se hallan en suspensión.

COMPUESTOS DE SUBSTITUCION: Compuestos que logran el mismo efecto intercambio de compuestos indeseables, pero son unos más baratos que otros.

CONDENSADOR DE VENTEO: Cámara destinada a condensar el vapor que se encuentra en la corriente de aire y gases desprendidos y que ha atravesado un calentador desaereador.

COPOLIMERO: Es el compuesto resultante de la mezcla de dos o más monomeros juntos.

CRIOBITA: Fluoruro doble de aluminio y sodio de fórmula Na_3AlF_6 .

DESEMULSIFICANTE: Acondicionador que rompe una emulsión y provoca la separación de sus fases.

DESORBER: Acción mediante la cual se despega los materiales pega-

dos a una superficie activa. Contrario de la absorción.

DIATOMEAS: Familia de algas unicelulares de color pardo.

DOBLES ENLACES: Enlace más fuerte que uno simple en que los compuestos comparten dos pares de electrones.

DOBLES ENLACES: Molécula que tiene un enlace más íntimo lo cual evita que el enlace se realice a través de otras moléculas.

ELUCION: Es el proceso mediante el cual se hace salir una sustancia retenida en una fase sólida hacia una líquida.

EMULSIFICADORES: Acondicionadores con los cuales se producen emulsiones. (En el caso referido de aceite en agua).

ENTEROVIRUS: Virus patógeno dañino al sistema gastrointestinal.

ENTRAMPAMIENTO: Fenómeno es el cual con la ayuda de un acondicionador se unen las gotitas de aceite que esté emulsificado.

ESCALA NORMAL DE COBALTO: Colores de referencia para comparar que tan turbia y que tan coloreada está una cierta agua. Las sales de cobalto suelen generar coloraciones azules y rosas de diferentes intensidades y tonalidades.

ESCATOL: Acondicionador que fomenta la espumación.

ESTADO REDUCIDO: Forma metálica en los metales.

ESTERES: Líquidos volátiles miscibles en los disolventes orgánicos. Resultan al reemplazar el hidrógeno de un ácido por un radical hidrocarbonado.

ESTIRENO: Molécula básica formadora del poliestireno constituida - carbón, hidrógeno y oxígeno.

FREON: Derivado clorado y fluorado del metano y etano, ininflamable, poco tóxico, empleado en sistemas de enfriamiento.

FUERZAS DE COALESCENCIA: Fuerzas que hacen que se aglutine un componente.

HIDROFILICO: Que se pega con facilidad al agua. Afín al agua.

HIDROFOBICO: Que rechaza el agua.

HIGROSCOPICA: Capacidad de algunos compuestos para absorber y exhalar agua o humedad.

INDICE DE ESTABILIDAD: Número correspondiente a la cantidad de calcio y magnesio disueltos en agua.

INOCUIDAD: Que no es nocivo para la salud humana.

ION: Molécula con carga eléctrica positiva o negativa.

IONICO: Que contiene iones.

ISOTERMA DE ADSORCION: Línea de una gráfica que a una temperatura constante muestra el aumento de absorción.

INDICE DE REFERENCIA: Números que muestran la cantidad de una magnitud, respecto a una magnitud básica.

JALES: Suspensiones de agua y materiales con escaso mineral utilpero que aún contienen alguno.

KRAFT: Término empleado para designar a el tipo de pasta de celulosa empleado para fabricar papeles de embalaje y cartones muyresistentes de color entre amarillo y pardo.

LEVIGACION: Método através del cual dentro de una substancia se hacen bajar los materiales más pesados en suspensión hacia el fondo.

LEY DE HENRY: Dicha ley establece que existe una relación constante entre el volúmen de un gas disuelto y el volúmen del disolvente; por lo que la cantidad de gas disuelto decrece al disminuir la presión.

LIMPIDA: Agua con características de clara y limpia a simple vista. Agua que se nota de lejos que es pura y cristalina sin que exista la necesidad de analizarla a detalle.

LIOFILICO: Que es afín a moléculas aceitosas.

LIXIVIACION: Es un proceso de separación de materiales en el

"Agua en la Industria del Papel", consiste esta operación en una deslignificación que se obtiene reduciendo la materia vegetal a fragmentos menudos y haciendo circular a través de su masa una corriente de sosa, o de otro disolvente que separa y limpia las fibras de celulosa.

LODO FRESCO: Lodo que tiene menos de 5 días de haber sido generado.

MOL: El número de moléculas que contiene el peso molecular gramo de cualquier sustancia es 6.02×10^{23} .

Es decir, 2.016 g de H_2 ; 32.00 g de O_2 ; 44.01g. de CO_2 etc., todos contienen 6.02×10^{23} moléculas o sea 1 mol de esa determinada substancia.

MANGANESO MANGANOSO: Manganese que a perdido 2 electrones M^{+2} y existe como ión libre en la naturaleza.

MATERIALES POLARES: Compuestos que dentro de su geometría interna tienen una cara cargada positivamente y otras negativamente.

MERCAPTANO: Son alcoholes en los cuáles un átomo de azufre reemplaza al átomo de oxígeno.

NEUTRALIZADORES DE ETAPAS MULTIPLES: Proceso en el cual en diferentes etapas se junta a un flujo ácido con uno alcalino hasta lograr un efluente neutralizado.

OXIDACION CATALITICA: Aumento de la valencia de un compuesto rápidamente.

OZONOLISIS: Fenómeno en la cual el ozono disuelto en flujo de agua reacciona con otras substancias contenidas en este.

PH: Es el logaritmo inverso de la concentración de iones H^+ (protones) de una solución; y se llama pH, porque representa el potencial de hidrógeno.

POLIACRILATOS: Polímeros de ésteres del ácido acrílico y sus derivados.

POLIAMINAS: Se emplean como detergentes y disolventes se hacen - con el etileno y el propileno.

POLIELECTROLITOS: Son sustancias cristalinas que al ponerse en disolución se disocian en 2 o más iones capaces de aumentar la - conductividad del agua; y auxiliar a la separación de algunas mo léculas indeseables.

POLIMERO AMORFO: Agrupación macro-molecular de moléculas grandes que no tienen una forma definida.

PROFILAXIS: Medidas preventivas para evitar que un cierto efluen te pudiese causar enfermedades.

PRUEBA DE ORTODOLINA: Prueba en la cual con diclorato de ortodo- lina; ácido clorhídricodiluido, ácido clorhídrico concentrado y- agua destilada; se generan aguas de colores que sirven para valo- rar la cantidad de cloro residual.

PULPA: Concentrado de mineral y ganga antes de extraerse el mine- ral.

QUIRONOMIDOS: Especie animal diminuta resistente a la acción le- tal de la ozonización.

RADICAL: Grupo de átomos pertenecientes a una molécula pero al -- cual se atribuye carácter propio porque, al termino de las reac- ciones, conserva íntegra su estructura.

RADICAL FUNCIONAL: Mólcula incompleta y que tiende a completarse que estan destinadas a producir un efecto particular en una reac- ción.

REGION MESOFILICA: Rango de temperatura entre 15 y 20°C. en la - - cual existe actividad de digestión de lodos.

REGION PSICROFILICA: Rango de temperatura inferior al 10°C. en la cual es escasa la actividad de digestión de lodos.

RELACIONES ESTEQUIOMETRICAS: Proporciones en que se combinan o -- reaccionan los compuestos.

RETENIDO: Partículas que son atrapadas en el interior del tazón giratorio de un filtro centrífugo.

SAPROFITICO: Organismos que descomponen a las substancias orgánicas de los lodos en compuestos más sencillos.

SEPTICO: Se llaman aguas séptica a aquellas que contienen gran cantidad de gérmenes nocivos; que producen putrefacción o son causadas por ella.

SILICOFLUORURO: Nombre que se le da también al fluosilicato. Es una sal de ácido fluosilícico.

SOBREPESOR: Ventilador que aumenta la presión de un vapor que -- sale a baja presión.

SODA: Término empleado para referirse a una agua con gran contenido de bióxido de carbono disuelto o a una agua con gran cantidad de sosa disuelta.

SOLUCION NORMAL: Es aquella que contiene un equivalente molecular en un litro.

SULFONADO: Molécula orgánica en que se le ha fijado el radical - S O₃ H mediante acción sobre el mismo del ácido sulfúrico.

TAMAÑO COLOIDAL: Una a 100 milimicras para las partículas sumergidas en el coloide.

TENSION DE VAPOR SATURANTE: Condición en que dada una presión y una temperatura pueden coexistir líquido y vapor saturados.

TITULACION: Determinar la cantidad presente de una substancia a través de una reacción para lo cual se añade una cantidad conocida de reactivo.

TORTA: Nombre con el que se designa a la masa de sólidos -- húmedos retenidos en los filtros centrífugos y desecadores térmicos.

VENTEO: Vapor y gases renovados del agua que son expulsados a la atmósfera en un calentador desaereador.

B I B L I O G R A F I A 489

- 1.- ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO/Steel Bracket, Editorial Gustavo Gili, S. A. Barcelona.
- 2.- ABASTECIMIENTO DE AGUA Y RECICLON DE AGUAS RESIDUALES/Fair, Editorial Limusa.
- 3.- ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA/Powell Sheppard, Editorial Limusa.
- 4.- ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS/ Rabbitt Harold, Editorial C.E.C.S.A.
- 5.- AMERICAN SEWERAGE PRACTICE/Metcalf Leonard, 3a. Ed., Mac Graw Hill, New York, 1935, U.S.A.
- 6.- BRACKISH WATER CONVERSION THRU REVERSE OSMOSIS PROCEEDINGS/Western Water and Power Symposium, 1966, Western Periodicals, California, U.S.A.
- 7.- CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK/ Perry, Mc Graw Hill, New York.
- 8.- CONTAMINACION DE AGUAS/Murguía Vaca Ernesto, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- 9.- DESALATING PLANTS INVENTORY/ Departamento de the Interior, - Office of Saline Water, Washington D.C. U.S.A.
- 10.- DESMINERALIZATION BY ION EXCHANGE/Applebaum S.B., Academic - Press, New York, 1966 U.S.A.
- 11.- DRINKING WATER ESTANDARDS/Public Health Service, 1962, - - - Washington D.C; U.S.A.
- 12.- DUFOUR "PERVASE" PERVEATORS FOR IMPROVING WATER QUALITY, -- PROCEEDINGS/Western Water and Power Symposium, western Periodicals, North Hollywood, California, 1966, U.S.A.
- 13.- ELIMINATION OF TASTE AND ODOR IN WATER/BAYLIS J.R., Mc Graw Hill, New York, 1935, U.S.A.
- 14.- EL TRATAMIENTO DE AGUAS MEDIANTE EL OZONO/ Comella Cyril, -- Editor Tralligaz, Francia.
- 15.- FLUORURACION DEL AGUA POTABLE/Maier Franz, Limusa, México.
- 16.- HOWOW FIBERS AS MEMBRANES FOR REVERSE OSMOSIS/H.I. National Academy Of Sciences, National Research Council, Publicación No.942, 1961, U.S.A.
- 17.- INGENIERIA ECOLÓGICA/Departamento de Ingeniería Sanitaria, - Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- 18.- INGENIERIA SANITARIA/Hardenberg W.A., C.E.C.S.A. México.
- 19.- INSTRUCTIVO PARA ESTUDIO Y PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE -- AGUA POTABLE/Programa Coplamar, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- 20.- INSTRUMENTACION Y CONTROL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES INDUSTRIALES Y DE DESECHO/Babcock Russell, Editorial -- LIMUSA.
- 21.- INTERNATIONAL STANDARDS FOR DRINKING WATER/ World Health -- Organization, 2a. Ed., Ginebra, Suiza, 1963.
- 22.- LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE AGUAS NEGRAS/Montejano P., Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
- 23.- LA INGENIERIA Y EL MEDIO AMBIENTE/Leyva Hashimoto Rodolfo, - Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- 24.- LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES/Comisión del Lago de Texcoco, S.A.R.H.

- 25.- MANUAL DE PRUEBAS PARA USOS INDUSTRIALES/American Society --
Testing and Materials. Editorial LIMUSA.
- 26.- MANUAL DE AGUA/Malco Chemical Company, Mc Graw Hill.
- 27.- MANUAL DEL INGENIERO CIVIL/Verritt, Mc. Graw Hill.
- 28.- MANUAL DEL INGENIERO MECANICO/Baumeister, Octava Edición --
Mc. Graw Hill.
- 29.- MANUAL DE NORMAS DE PROYECTO PARA OBRAS DE APROVISIONAMIENTO
DE AGUA POTABLE EN LOCALIDADES URBANAS DE LA REPUBLICA -
MEXICANA/Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- 30.- MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS/Hilleco Herman, Departamento
de Sanidad del Estado de Nueva York, Editorial LIMUSA.
- 31.- MANUAL DE SANEAMIENTO/Dirección de Ingeniería Sanitaria, ---
Secretaría de Salubridad y Asistencia, Editorial LIMUSA.
- 32.- NORMAS TECNICAS PARA EL PROYECTO DE PLANTAS POTABILIZADORAS/
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- 33.- PEQUEÑO LAROUSSE DE CIENCIAS Y TECNICAS/Galiata Kirgot Tomas,
Editorial Larousse Paris.
- 34.- PROGRESS IN SALINE WATER CONVERSION/Eliassen R, A.W.W.A., -
1961 U.S.A.
- 35.- PUBLIC WATER SUPPLY QUALITY AND A.W.W.A. PROPOSED GOALS/Tay-
lor F.B., A.W.W.A. 1966 U.S.A.
- 36.- PURIFICACION DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESI-
DUALES/Fair, Editorial LIMUSA.
- 37.- PURIFICATION OF SUBSURFACE WATERS BY REVERSE OSMOSIS/Larson
T.J., A.W.W.A., 57 Bulletin, 1967, U.S.A.
- 38.- SISTEMA CUIZAMALA/Agua Potable para el Area Metropolitana, -
Comisión de Aguas del Valle de México, S.A.R.H.
- 39.- SISTEMA CUIZAMALA/Segunda Etapa, Certación Valle de Bravo,
S.A.R.H.
- 40.- TERMO DINAMICA PARA INGENIEROS/Salzhiser Richard, Editorial -
Prentice Hall Internacional.
- 41.- THE WORK OF THE SANITARY ENGINEER/Secritt L.B., McDonald y -
Evans, London, 1949, England.
- 42.- TRATAMIENTO DE AGUAS NEGROS Y DESHECHOS INDUSTRIALES/Barnes
George, Editorial UTEHA, 1967.
- 43.- UNIT OPERATIONS OF SANITARY ENGINEERING/Rich L.G., Wiley, -
New York, 1961, U.S.A.
- 44.- UNIT PROCESSES OF SANITARY ENGINEERING/Rich L.G., Wiley, --
New York, 1963, U.S.A.
- 45.- WATER AND ITS IMPURITIES/Camp T.R., Reinhold, Nueva York
1963, U.S.A.
- 46.- WATER QUALITY AND TREATMENT/A.W.W.A., 3a. Ed. New York, --
1967, U.S.A.
- 47.- WATER QUALITY CRITERIA/YcKee J.E., State Water Quality Con-
trol Board, Resources Agency of California, Sacramento, ---
1963, U.S.A.
- 48.- WATER TREATMENT HANDBOOK/Degrémont, 3a ed. H.K. Elliot, ---
London, 1965, UNITED KINGDOM.