



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLCGO

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA CONTAMINACION DEL AGUA PROVENIENTE DE ALGUNAS DESCARGAS INDUSTRIALES EN LA CIUDAD DE MEXICO. D F

CONTAMINACION AMBIENTAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: B I O L O G O P R E S E N T A N :

AVILA HERMOSILLA MARIA DEL PILAR ARREDONDO AMEZCUA VICTOR HUGO

ASESOR EXTERNO

BIOL. EDMUNDO DUCOING CHAHO

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA IZTAPALAPA

ASESOR INTERNO:

M. en C MANUEL RICO BERNAL

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

U N A M ZARAGOZA



LO HUMANO ES DE NUESTRA OBLACION

ABRIL DE 1994

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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.

DEDICATORIA

A mis padres: Bertha M. Hermosilla Canseco.
Obdulio Avila Agatón.
De su hija: M^a del Pilar Avila Hermosilla.

A mis padres: M^a Soledad Amezcua Ramos.
J. Antonio Arredondo Jimenez.
De su hijo: Victor Hugo Arredondo Amezcua.

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que de manera incondicional nos apoyaron para la realización del presente trabajo.

Hace mucho tiempo que el hombre sembró la primera semilla, y con ella, la de la civilización.

Pero hoy en día, ha olvidado que el planeta está vivo, ha atacado a la tierra, desgarrando sus entrañas, desangrando su piel, envenenando el aire y el agua.

¿ Hacía donde va la raza humana con su progreso ?

Siendo el hombre el ser supremo de la creación, ni él mismo lo sabe.

CONTENIDO

	Pags.
1.- Resumen	1
2.- Introducción	2
3.- Planteamiento del problema	8
4.- Area de estudio	10
5.- Justificación	11
6.- Objetivos	12
7.- Método	13
8.- Resultados	18
9.- Analisis de resultados	31
10.- Conclusiones	43
11.- Bibliografía	45

ANEXO A

Legislación Ambiental en México

ANEXO B

Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

ANEXO C

Glosario

RESUMEN

Debido a que el problema de la contaminación del agua generada en zonas urbanas, afecta de manera indirecta a los ecosistemas terrestres y acuáticos y a la salud humana, el presente trabajo hace una contribución al estudio de la contaminación del agua proveniente de algunas descargas industriales en la ciudad de México, D.F., con la finalidad de proponer algunas opciones de tratamiento que permitan prevenir, reducir y controlar la contaminación del agua, ya que éste problema repercute tanto en forma social y económica como biológica y ecológicamente.

Efectuando la evaluación a seis descargas de agua residual de acuerdo al Artículo 4º de la NTE-CCA-031/91 y conforme a las Normas Oficiales Mexicanas para la determinación de la concentración de los contaminantes que establece dicha norma, encontrando los siguientes resultados:

Las seis empresas evaluadas exceden la norma en aluminio, además las empresas Elaboración de bolsas de papel, Fotograbado en lámina y Elaboración de sartenes para cocina presentan altas concentraciones en Cromo total, Plomo y Cromo total, respectivamente.

De acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, las seis empresas rebasan los criterios de calidad en grasas y aceites.

Con respecto a los diferentes análisis de evaluación, se puede concluir que son métodos confiables de prueba.

Debido a que las empresas evaluadas presentan severos problemas de contaminación por aluminio, grasas y aceites, además de otros contaminantes en menor cantidad, los sistemas de tratamiento propuestos están enfocados para reducir la concentración de éstos en sus descargas.

Se recomienda realizar el seguimiento de un año de las mismas empresas, monitoreando por lo menos una vez al mes las descargas, para determinar como varía la concentración de contaminantes con la finalidad de confirmar si los sistemas de tratamiento propuestos son los adecuados o ajustarse a otros métodos diferentes.

INTRODUCCION

La mayor cantidad de agua sobre el planeta se encuentra en los océanos con un 97.2% aproximadamente, estimándose en 1,264 millones de km^3 . El agua dulce ocupa el 2.8%, o sea 36 millones de km^3 , encontrándose la mayor parte, 28 millones de km^3 en los casquetes polares y en las nieves eternas de las altas cordilleras. El agua dulce en el mundo y que encontramos en ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos, se estima en 8 millones de km^3 , equivalentes al 0.63% del total, y el 0.02% restante se encuentra en la atmósfera. (1).

Los usos que el hombre le ha dado al agua son múltiples: como elemento para su nutrición, sea como bebida o parte integrante de sus alimentos, como medio de transporte, para riego, aseo, industria, generación de energía, para alejar sus desechos o para fines recreativos. (2).

La utilización del agua en todo el mundo en los niveles actuales de demanda, está demostrando los efectos secundarios desfavorables que afectan su calidad (entiéndase por calidad del agua, el uso al que está destinada), el ambiente y la salud humana. La captación de aguas subterráneas a una tasa superior a la recarga, se traduce en el agotamiento de los acuíferos que frecuentemente están sujetos a la intrusión de agua salada en los litorales. El riego superficial expandido ha provocado en algunos lugares la salinización o alcalinización de los suelos, o la elevación del nivel freático, haciéndolos improductivos. Los aprovechamientos que obligan al cambio del cauce de los ríos y de sus gastos, interfieren con otras actividades aguas abajo como la vida acuática, la flora y fauna silvestre. (3).

En México, los recursos hidráulicos presentan características muy variables, lo que imposibilita dar un panorama global del grado de contaminación que sufren las aguas del país; empero, existen ciertas zonas donde están disminuyendo los potenciales de las fuentes de abastecimiento, como consecuencia de la demanda motivada por la explosión de las comunidades y por la incidencia de aguas residuales en los cuerpos de agua, en un grado tal, que ya no se pueda confiar a los fenómenos de autodepuración la restitución de las condiciones idóneas de calidad del recurso. (4).

Las principales fuentes contaminantes pueden ser:

1.- AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.

Son aquellas que resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación pluvial que puedan agregarse. Estas aguas están constituidas por desechos humanos y animales, desperdicios caseros, corrientes pluviales y finalmente la infiltración de aguas subterráneas.

Las grandes ciudades y los conglomerados urbano-industriales (como la ciudad de México), son dos de las principales fuentes de contaminación del agua. Estas zonas debido a la gran concentración de personas, aunada a las actividades industriales, demandan considerables volúmenes de agua, que después de utilizarlos son evacuados en forma de aguas residuales, que al incorporarse a la atmósfera, pasan a formar parte del ciclo hidrológico, esquema 1.0. (5).

Los núcleos urbano-industriales que actualmente producen mayor descarga de contaminantes son las Areas Metropolitanas de las Ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, en conjunto aportan el 40% de la descarga total de aguas residuales en el país y el 35% de la descarga orgánica expresada en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

También se consideran de atención prioritaria las ciudades de Coatzacoalcos, San Luis Potosí, Villahermosa, Acapulco, Mazatlán, Ensenada y la zona de Guaymas-Empalme, en donde las actividades industriales, turísticas o portuarias, aunadas a su ubicación geográfica proporcionan una contaminación relevante, contribuyendo con el 5% de la descarga total nacional de aguas residuales. (6).

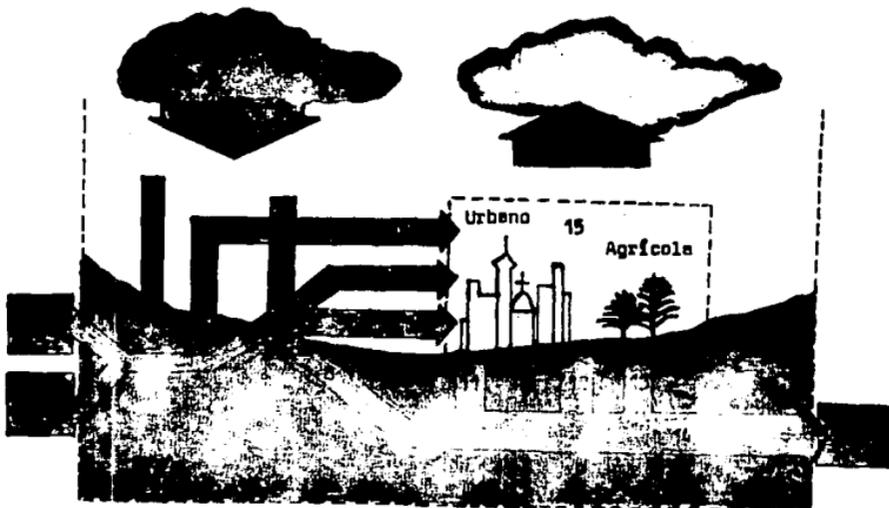
El problema del agua en la ciudad de México no es nada más un problema de abastecimiento, hay que considerar dos aspectos: uno, como se utiliza el agua; y dos, que hacemos con ella después de usarla.

De toda el agua que se utiliza en la ciudad, solo el 2% se lleva a las plantas de tratamiento para su reutilización, el resto entra al drenaje profundo, el cual las lleva hasta el río Tula y luego a los ríos Moctezuma y Pánuco para terminar finalmente en el Golfo de México.

Por otra parte el 60% del agua que se consume en la ciudad de México se utiliza en las casas en donde se contamina con desechos orgánicos y detergentes. (7).

EL CICLO HIDROLOGICO EN LA CIUDAD DE MEXICO, D.F

- | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1.- R. Lerma. | 6.- Evaporación. | 12.- Reuso urbano-industrial. |
| 2.- R. Cutzamala. | 7.- Extracción. | 13.- Reuso riego. |
| 3.- Precipitación. | 8.- Drenaje pluvial. | 14.- Descarga. |
| 4.- Infiltración. | 9.- Regulación. | 15.- Consumo. |
| 5.- Escurrimiento. | 10.- Importación. | 16.- Cuenca del río Tula. |
| | 11.- Aguas residuales. | |



2.- AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

Tienen su origen en los procesos húmedos derivados de las actividades industriales. Estos efluentes varían según su tipo y volúmen, puesto que existen casi tantos contaminantes como procesos industriales hay. Por lo general contienen materia mineral suspendida, coloidal o disuelta, así como materia orgánica, productos químicos, detergentes, pesticidas, productos radioactivos, etc. Además, pueden ser excesivamente ácidas o alcalinas y contener altas concentraciones de materias colorantes y bacterias patógenas. (8).

En el Area Metropolitana de la Ciudad de México existen alrededor de treinta mil establecimientos industriales, cuya mayor actividad se concentra en las delegaciones de Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Tlalpan y Xochimilco. Y en el Estado de México por los municipios de Naucalpan, Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán de Romero Rubio, Cuautitlán Izcalli, Tlanepantla y Ecatepec. (9).

El sector industrial, utiliza el agua en procesos de elaboración, transformación, y en ocasiones, enfriamiento.

Es difícil precisar la cantidad requerida para producir un determinado artículo, y en términos globales el volumen anual ocupado en 1980 fue de 4,600 millones de m^3 , para 1990 la cifra se incrementó a 9,500 millones de m^3 , y se estima que para el año 2000 el consumo será de 22,700 millones de m^3 . (10).

Se calcula que en 1988 la Ciudad de México generó aproximadamente 30 m^3 /seg, de aguas residuales, y actualmente (1994) cerca de 40 m^3 /seg., que escurren a través del sistema de drenaje fuera del Valle de México. (11).

El tipo de contaminantes descargados en las aguas residuales depende fundamentalmente de su giro o actividad. (11).

La Tabla 1.0 muestra los tipos de desechos que son vertidos al agua por los sectores industriales que demandan mayores volúmenes de agua.

Desde el punto de vista de contaminantes, se considera que los giros generadores de aguas residuales más peligrosos son: la industria química, papel y celulosa, hierro y acero, textil, galvanoplástica, minerales no metálicos, alimenticia, del curtido de pieles, azúcar, petróleo, bebidas, siderúrgica y eléctrica; ramas que en conjunto aportan más del 80% de aguas de desecho. (7).

TABLA 1.0

**CONTAMINANTES CARACTERISTICOS EN INDUSTRIAS QUE EMPLEAN
GRANDES VOLUMENES DE AGUA.**

ACTIVIDAD INDUSTRIAL	CONTAMINANTE
Celulosa y papel	Sólidos sedimentables y suspendidos, sustancias orgánicas e inorgánicas.
Hierro y acero	Sólidos sedimentables, grasas y aceites, sustancias orgánicas e inorgánicas.
Textil	Sólidos sedimentables y suspendidos, sustancias orgánicas e inorgánicas.
Alimentaria	Sólidos sedimentables, sustancias orgánicas, grasas y aceites, jabones y detergentes.
Vitivinícola	Sólidos sedimentables y suspendidos, materia orgánica, grasas y aceites, jabones y detergentes.
Petrolera	Sólidos sedimentables, suspendidos y suspendidos volátiles, grasas y aceites, sustancias orgánicas e inorgánicas, jabones y detergentes.
Curtiduría	Sólidos sedimentables y suspendidos, materia orgánica disuelta, sustancias orgánicas e inorgánicas, metales pesados, grasas y aceites.
Acabado de metales	Sólidos sedimentables, grasas y aceites, sustancias inorgánicas, jabones y detergentes.
Café	Sólidos sedimentables, disueltos y suspendidos, sustancias orgánicas e inorgánicas.
Azúcar	Sólidos sedimentables y suspendidos, materia orgánica, sustancias inorgánicas, grasas y aceites.
Minerales no metálicos	Sólidos sedimentables, sustancias orgánicas, grasas y aceites.
Química	Compuestos orgánicos e inorgánicos.

3.- AGUAS DE RETORNO AGRICOLA.

Son las aguas excedentes del riego agrícola, las cuales retornan a los cuerpos de agua más cercanos una vez que la demanda de agua de los suelos está satisfecha. El contacto de las aguas de retorno agrícola con los suelos de cultivo hace que se incorporen a éstas algunas sustancias provenientes de los fertilizantes y plaguicidas, necesarios en los diferentes cultivos, lo que provoca cambios en la Calidad del Agua donde son descargadas.

Estos cambios ocasionan efectos tóxicos en los organismos que viven en dichos cuerpos de agua y provocan el crecimiento excesivo de plantas acuáticas. Encontramos que los insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc., compuestos orgánicos como los hidrocarburos clorados, fosfatos orgánicos, carbamatos, etc. y los compuestos inorgánicos como los arseniatos, fluoruros, boratos, sulfatos y otros compuestos de azufre, dañan a los organismos que tratan de combatir con ellos, pero también dañan con frecuencia al ser humano. (8).

Después de haber sido vertidos los desechos líquidos en los cuerpos de agua, éstos pierden en gran medida su identidad, sin embargo, se pueden clasificar en forma general en los siguientes géneros: químicos, físicos y biológicos. (12).

Las aguas residuales, se caracterizan por la gran cantidad y variedad de contaminantes, lo que las hace peligrosas y de difícil manejo, al ser dispuestas sin tratamiento, originan serios problemas sobre los cuerpos de agua afectando la vida que sustentan, disminuyendo en consecuencia su potencial de uso. (7).

Es por ello, que la Secretaría de Recursos Hidráulicos realizó en 1973 un estudio de las condiciones de contaminación de las cuencas del país, seleccionando 218 cuencas que representan el 92% de los ríos existentes y el 81% del volumen de escurrido; de ellas proviene el 95% de la producción nacional y en su superficie, que equivale al 84% del territorio nacional, reside el 98% de la población del país. (1).

Concluido el estudio, se clasificaron las cuencas en tres órdenes en relación a indicadores físicos, sociales, económicos y de contaminación, el cual concluyó en las siguientes prioridades de atención:

- a) Cuencas de primer orden. Son aquellas donde existen graves problemas de contaminación y por lo tanto requieren de una atención inmediata. Mapa 1.0.
- b) Cuencas de segundo orden. Son aquellas en donde por la población y la industria establecida, se espera que en un periodo aproximado de 10 a 20 años las aguas residuales produzcan niveles altos de contaminación y degraden la calidad de sus corrientes tributarias. Dentro de esta clasificación quedaron 43 cuencas. Tabla 1.1.

TABLA 1.1

CUENCAS DE SEGUNDO ORDEN

Salado	Soto la Marina	Tecolutla
Colorado	Actopan	Cihuatlán
Sonora	Grijalva	San Lorenzo
Tijuana	Mayo	Papagayo
Jamapa	Armería	Usumacinta
Bravo	La Antigua	Suchiate
Presidio	Coatzacoalcos	Ensenada
San Pedro	Nautla	De Bustillos
Matape	Sinaloa	Coyuca
Papaloapan	Mocorito	Santo Domingo
Casas Grandes	Atoyac o Verde	Tonalá
Aguanaval	Tehuantepec	Cocoraque
Yaqui	Cazones	San Diego
Ameca	Santa María	Concepción
	Tuxpan	

- c) Cuencas de tercer orden. Las 164 cuencas que quedaron dentro de esta clasificación, actualmente no presentan niveles significativos de contaminación. (13).

MAPA 1.0
CUENCAS DE PRIMER ORDEN



- | | |
|-------------|-------------|
| 1 PANUCO | 6 SAN JUAN |
| 2 LERMA | 7 CULIACAN |
| 3 BALSAS | 8 FUERTE |
| 4 BLANCO | 9 COAHUYANA |
| 5 GUAYALEJO | 10 NAZAS |
| | 11 CONCHOS |

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental se origina principalmente por el crecimiento de los centros de población, las actividades industriales y las transformaciones en los hábitos de comportamiento, orientados al consumismo. Este fenómeno ocurre cuando se rebasa la capacidad de autodepuración de los ecosistemas, al arrojarse al medio natural elementos y sustancias en concentraciones tales que no pueden ser absorbidos o biodegradados.

Por otro lado el crecimiento demográfico e industrial observado a partir de la década de los 40's, en la Ciudad de México, derivó en un aumento significativo en el consumo de agua y en consecuencia, en mayores volúmenes de aguas residuales que afectan sensiblemente la calidad del recurso, el equilibrio ecológico y la existencia de gran cantidad de especies de flora y fauna acuática en ríos, lagos, lagunas, estuarios, zonas costeras y demás cuerpos de agua; así como también pueden incidir en los sistemas terrestres.

Las prácticas asociadas con el manejo y disposición de las aguas residuales también han traído consigo diversos efectos de naturaleza socioeconómica. Con la contaminación del recurso, se ha reducido la disponibilidad de agua superficial de buena calidad, ocasionando una explotación cada vez mayor de los mantos acuíferos y la importación de fuentes aún más lejanas a los centros de desarrollo urbano-industriales, con el consecuente incremento en los costos de suministro y el déficit constante en la dotación a los sectores más pobres de la población. (14).

Como respuesta a las nuevas necesidades sociales y al crecimiento poblacional, en años anteriores se había hecho énfasis en la diversificación de la economía, sin atender de forma suficiente la conservación de los recursos naturales y la protección al ambiente.

Es por ello, que con el propósito de atender en forma paralela el reto que implica el crecimiento y la modernización del país, el día 1º de Marzo de 1988 entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Esta ley, define la política ecológica nacional y sus instrumentos para la prevención y control de la contaminación del agua, que establece en el artículo 118 la necesidad de:

- 1) Dictar criterios para la prevención y control de la contaminación del agua; para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales y daños a la salud pública.
- 2) Formular Normas Técnicas Ecológicas (NTE) que deberán satisfacer el tratamiento del agua para uso y consumo humano.

En lo que toca al primer punto, el 13 de Diciembre de 1989 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación los criterios ecológicos de la calidad del agua, mismos que precisan un total de 24 parámetros y 98 sustancias y grupos de sustancias que por sus efectos adversos sobre la salud humana o los ecosistemas, se han considerado como prioritarios. En estos criterios se establece la calidad mínima requerida para el uso o aprovechamiento del agua.

Las NTE's, establecen los requisitos que deben observarse para garantizar el bienestar de la población y asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección de los distintos cuerpos de agua en el país.

En el periodo comprendido entre 1988 y 1990 se emitieron un total de 28 NTE's para el control de las descargas de aguas residuales industriales a cuerpos receptores, más 4, que se publicaron durante 1991.

Así también, el 18 de Octubre de 1993 apareció en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana que sustituyó a las anteriores. Tabla 1.2. (15).

Por otra parte, el 7 de Abril de 1993 en el Diario Oficial de la Federación, en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, en el título tercero, capítulo segundo se establece la finalidad de las Normas Oficiales Mexicanas. (16).

TABLA 1.2

FECHA DE PUBLICACION DE LAS NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS

AÑO DE PUBLICACION	NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS
1988	01 - 25
1990	26 - 28
1991	29 - 32
1993	01 - 32 *

* Normas Oficiales Mexicanas.

Debido a que las descargas industriales son una fuente de contaminación de los cuerpos acuáticos y mantos acuíferos en el país, el presente estudio toma como instrumento de evaluación las normas técnicas ecológicas, cuya función es la prevención de contaminantes generado por actividades antropogénicas, que puedan alterar o modificar las características del agua, salud y bienestar humano, la flora y fauna o bien degraden la calidad de los recursos naturales.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

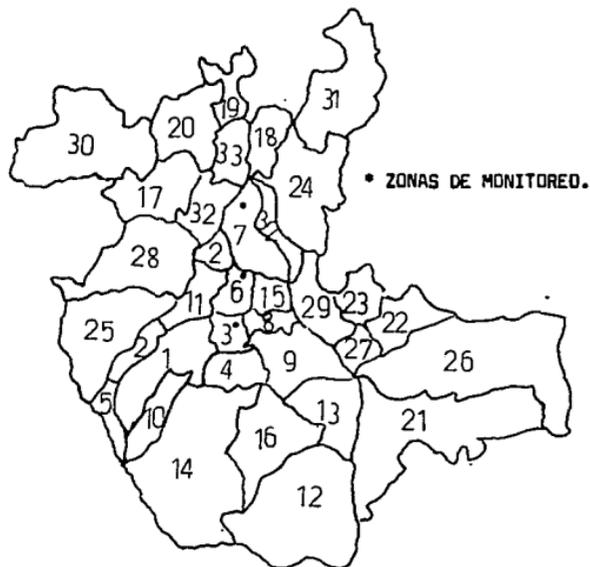
La Ciudad de México, se localiza en la Cuenca del Valle de México, cuya superficie es de 9,600 Km²; el Distrito Federal se sitúa en la parte Suroeste de dicha cuenca, ocupando el 16% del territorio total con 1,500 Km², de los cuales 600 se encuentran totalmente urbanizados, la mayor parte del área urbana se encuentra ubicada en la zona más plana y baja de la cuenca a 2,240 m.s.n.m. al sur, y a 2,390 m.s.n.m. al norte la más alta. (17).

El Distrito Federal está constituido por dieciséis delegaciones administrativas, pero adicionalmente, debido a la creciente industrialización y urbanización, existen a su alrededor además doce municipios del Estado de México que lo flanquean por el Norte, Este y Oeste. Denominándose a ésta gran zona, Area Metropolitana de la Ciudad de México. Ver Mapa 1.1. (9).

Los seis monitoreos de aguas residuales se efectuaron en las siguientes delegaciones políticas del Distrito Federal:

3 en la Benito Juárez, 2 en la Gustavo A. Madero y 1 en la Cuauhtémoc, ya que éstas requerían un estudio de caracterización de aguas residuales. Su ubicación puede verse en el Mapa 1.1 del Area Metropolitana de la Ciudad de México.

MAPA 1.1 AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.



DELEGACIONES

- 1.- A. Obregón.
- 2.- Azcapotzalco.
- 3.- B. Juárez.
- 4.- Coyoacán.
- 5.- Cuajimalpa.
- 6.- Cuahutémoc.
- 7.- G. A. Madero.
- 8.- Iztacalco.
- 9.- Iztapalapa.
- 10.- M. Contreras.
- 11.- M. Hidalgo.
- 12.- Milpa Alta.
- 13.- Tlahuac.
- 14.- Tlalpan.
- 15.- V. Carranza.
- 16.- Xochimilco.

MUNICIPIOS

- 17.- Atizapán de Zaragoza.
- 18.- Coacalco.
- 19.- Cuautitlán Izcalli.
- 20.- Cuautitlán.
- 21.- Chalco.
- 22.- Chicoloapan.
- 23.- Chimalhuacán.
- 24.- Ecatepec.
- 25.- Huixquilucan.
- 26.- Ixtapalapa.
- 27.- La Paz.
- 28.- Naucalpan de Juárez.
- 29.- Netzahualcóyotl.
- 30.- Nicolás de Romero.
- 31.- Tecamac.
- 32.- Tlanepantla.
- 33.- Tultitlán.

JUSTIFICACION

Como ya se mencionó, el Area Metropolitana de la Ciudad de México es una de las fuentes de contaminación más importantes de los cuerpos acuáticos en el país, debido a la alta concentración de industrias establecidas que emplean volúmenes considerables de agua en sus procesos de producción y que son desechadas sin previo tratamiento, en la mayoría de los casos.

Por estas razones, se cree que es necesario elaborar un estudio que nos dé la facultad de evaluar y diagnosticar la calidad del agua proveniente de descargas industriales, con la finalidad de proponer algunas opciones de tratamiento que permitan prevenir, reducir y controlar la contaminación del agua, ya que éste problema repercute tanto en forma social y económica como biológica y ecológicamente.

Por lo tanto, para llevar a cabo este trabajo, se plantean los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar algunas descargas de agua de uso industrial, para determinar su calidad de acuerdo a normas establecidas y plantear opciones para su tratamiento.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Recopilar las Normas Técnicas Ecológicas del agua.
- Aplicar los parámetros de calidad del agua establecidos en el artículo 4º de la Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-031/91.
- Comparar los resultados obtenidos con el Límite Máximo Permisible de la NTE-CCA-031/91 y los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89.
- Comparar los resultados obtenidos con otros standards, tales como el Índice de Calidad del Agua (ICA), Índice de Calidad de Aguas Residuales (ICAR).
- Describir los métodos unitarios de tratamiento de aguas residuales convencionales.
- Plantear alternativas de solución para las empresas evaluadas, conforme a las pruebas de evaluación.
- Comentar la pertinencia de las Normas Técnicas Ecológicas del Agua en México.

METODO

Para cumplir los objetivos planteados, se dividió el trabajo en tres fases: Gabinete, Campo y Laboratorio.

La primera de ellas, consistió en la recopilación de información para la parte teórica.

La fase de Campo consistió en la colecta de muestras simples en botellas de plástico de 1 litro de capacidad con un intervalo de 3 horas entre cada una, para formar la muestra compuesta, tal como lo establece el Artículo 7º de la Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-031/91, Tabla 1.3.

TABLA 1.3**TOMA DE MUESTRAS**

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO	MUESTRAS	MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
Hasta 8	3	2	4
8 - 12	4	2.6	4
12 - 18	4	4	6
18 - 24	5	4.5	6

(18)

Por otro lado, se tomaron in situ los siguientes parámetros pH, Temperatura, Sólidos sedimentables y Conductividad eléctrica.

Los métodos de preservación de los parámetros determinados, se efectuaron de acuerdo a las Tabla 1.4.

TABLA 1.4

P R E S E R V A C I O N

PARAMETRO	TECNICA	REACTIVOS	TIEMPO
Temperatura	-	-	In situ
pH	0°C	-	In situ
Sol. Sed.	4°C	-	in situ
C. eléctrica	4°C	-	in situ
G y A	4°C	HCl → pH = 2	1 - 28 días
Cianuros	4°C	NaOH10N → pH = 12	1 - 14 días
Flúor	4°C	-	7 - 28 días
Fenoles	5 - 10°C	H ₃ PO ₄ → pH = 4	1 día
SAAM	4°C	-	1 día
Metales pesados	0°C	HNO ₃ → pH < 2	6 meses

(19)

Para la fase de laboratorio, el análisis de los parámetros se efectuó como se muestra en la Tabla 1.5.

TABLA 1.5

A N A L I S I S

PARAMETRO	METODO	ENVASE	VOL. (ml)
Temperatura	Termométrico	V.P	1,000
pH	Potenciométrico	V.P	1,000
Sol. Sed.	Gravimétrico	V.P	1,000
C. eléctrica	Conductimétrico	V.P	1,000
G y A	Extracción Soxhlet	V*	1,000
Cianuros	Titulación	V.P	1,000
Flúor	Colorimétrico	V.P	1,000
Fenoles	4-Aminoantipirina	V.P	1,000
SAAM	Azul de metileno	V.P	1,000
Metales pesados	Espectrofotométrico	V.P	1,000

(20)

V.- Botella vidrio

P.- Botella polietileno

V*.- Botella vidrio de boca ancha

Por último se confrontaron los resultados obtenidos de los análisis de aguas residuales de diversos giros industriales con la NTE-CCA-031/91 sobre prevención y control de la contaminación del agua, la cual establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, señalados en el artículo 4º de dicha norma. Tabla 1.6.

TABLA 1.6

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARAMETRO	UNIDADES	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Temperatura	°C	-	40
Potencial de Hidrógeno	UpH	6 - 9	6 - 9
Sólidos Sedimentables	ml/l	5.00	10.00
Grasas y Aceites	mg/l	70.00	140.00
Conductividad eléctrica	µmhos/cm	10,000.00	15,000.00
Cianuros	mg/l	1.00	2.00
Flúor	mg/l	30.00	60.00
Fenoles	mg/l	5.00	10.00
SAAM	mg/l	30.00	60.00
Zinc	mg/l	6.00	12.00
Aluminio	mg/l	10.00	20.00
Arsénico	mg/l	2.00	4.00
Cadmio	mg/l	0.50	1.00
Cobre	mg/l	5.00	10.00
Cromo Hexavalente	mg/l	0.50	1.00
Cromo Total	mg/l	2.50	5.00
Mercurio	mg/l	0.01	0.02
Níquel	mg/l	4.00	8.00
Plata	mg/l	1.00	2.00
Plomo	mg/l	1.00	2.00

Los resultados obtenidos se analizaron de acuerdo a diferentes normas en vigencia, y en conformidad con el Índice de Calidad del Agua. (21, 22, 23).

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

El objetivo de ICA es proporcionar un medio para agrupar los resultados obtenidos de un análisis de agua a una forma de porcentaje comparable y de fácil comprensión.

La primera etapa en el cálculo de I fue crear una escala de calificación general de acuerdo a los diferentes usos del agua.

La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su contribución al grado de contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon las ecuaciones para cada parámetro los cuales convertirían los datos de las muestras de agua a I, al que se le añadió un subíndice con la abreviación correspondiente.

Estos I individuales son promediados para darnos una I compuesta de la muestra de agua.

Debido a que ciertas pruebas son más significativas para calidad de agua que otras, fue añadida una tercera etapa en la que los componentes de la fórmula fueron pesados por orden de importancia. El peso asignado a cada prueba se designó como W_i , al que se le añadió el subíndice que representa la prueba, de tal forma que la fórmula que nos proporciona el Índice de Calidad del Agua es:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

- I = Índice de Calidad del Agua, $0 \leq I \leq 100$
 En donde el 100 representa una calidad óptima.
 I_i = Índice de Calidad para cada Parámetro i , $0 \leq I_i \leq 100$
 W_i = Peso de Importancia del Parámetro i , $0 \leq W_i \leq 5$
 n = Número de Parámetros determinados.

Esta I final representa la Calidad del Agua en el instante t , o sea, que nos expresa el nivel de contaminación con el cambio del tiempo. Sin embargo, hay que tener presente que tanto las ecuaciones individuales como los pesos deben ser revisados antes de ser aplicados a un lugar específico; aún cuando la metodología sigue siendo válida. (21).

La ecuación general que establece el Índice de Calidad del Agua para los parámetros, se puede expresar de la siguiente forma:

$$I_{\text{parámetro}} = K [\text{Parámetro}]^C$$

Los resultados obtenidos del Índice de Calidad del Agua se analizan mediante el método S. H. Dinius, empleando el método de mínimos cuadrados o regresión lineal.

Se puede además graficar el ICA versus TIEMPO para observar el comportamiento. Tabla 1.7.

Por último el resultado obtenido se extrapola a la Tabla 1.8 para determinar la Calidad del Agua de acuerdo al uso al que esté destinada. (22).

Una de sus variantes es el Índice de Calidad de Aguas Residuales, que se define mediante el siguiente modelo:

$$ICAR = \frac{\sum_{i=1}^n [(Vp_i / Vc) + 1]}{n} \quad \text{Donde:}$$

ICAR = Índice de Calidad del Agua Residual,

Vp = Valor del parámetro *i*ésimo determinado.

Vc = Valor del criterio de calidad del parámetro,

n = Número de Parámetros determinados.

Quando:

ICAR ≤ 3 Aparentemente nula influencia industrial.

3 < ICAR ≤ 6 Baja influencia industrial.

6 < ICAR ≤ 9 Media influencia industrial.

9 < ICAR ≤ 12 Alta influencia industrial.

ICAR > 12 Muy alta influencia industrial.

La ventaja de usar este modelo es que se aplica sin usar medidas de ponderación. (23).

TABLA 1.7

GRAFICA DE ICA VERSUS TIEMPO

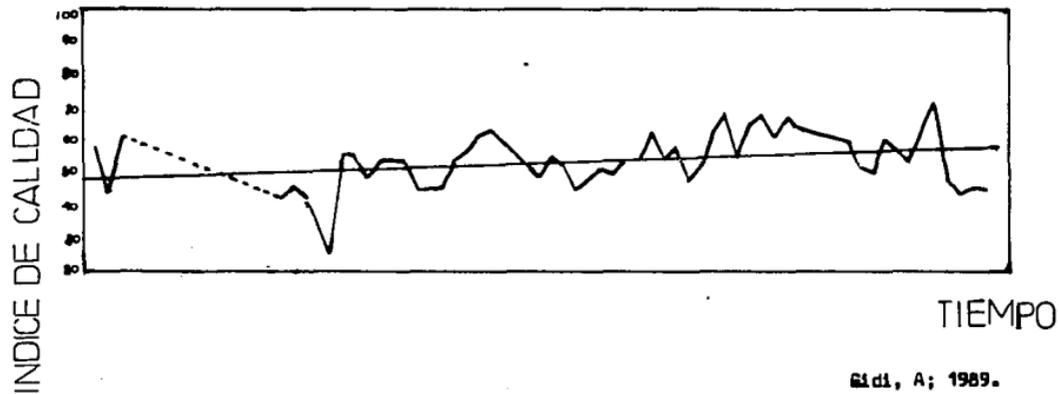


TABLA 1.8

INDICE DE CALIDAD	100	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACION	A C E P T A B L E	A C E P T A B L E	
	90	LIGERA PURIFICACION			LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS			
	80	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL			
	70							
	60							
	50	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA			
	40		SIN CONTACTO CON EL AGUA					
	30		MUESTRAS OBVIAS DE CONTAMINACION		USO MUY RESTRINGIDO			CONTAMINADO
	20							
	10							
0							INACEPTABLE	
	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA	NAVEGACION		TRANSPORTE DE DESECHOS TRATADOS	

RESULTADOS

A continuación se realiza una breve descripción del proceso de producción o de servicio de las empresas evaluadas, describiendo la materia prima, equipo empleado y producto terminado, con la finalidad de identificar en que parte del proceso se generan descargas de aguas residuales hacia el drenaje.

Por otra parte, se muestran las tablas de resultados y gráficas de las diferentes formas de evaluación de las descargas de aguas residuales para las empresas estudiadas.

EMPRESA: A.

GIRO O ACTIVIDAD: Elaboración de Bolsas de Papel.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD	PRODUCTO	CANTIDAD
Rollo de papel	1000 Kg	3 Guillotinas	Manual	Bolsas de papel para uso doméstico	Variable
Botes de pintura	Variable	1 Plancha rotativa	2 H.P		
Pegamento para papel	Variable	4 Rodillos rotatorios	2.5 H.P		

DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

Se transportan los rollos de papel del almacén al área de fabricación, aquí, la tira de papel se corta a un tamaño de 30 - 50 cm por medio de la guillotina, se pasan manualmente los trozos de papel hacia la plancha rotativa que los transporta al área de engomado, en donde se les añade el pegamento en los bordes de la hoja, para posteriormente formar la bolsa por medio de los rodillos rotatorios, se colectan las bolsas en canastillas y se transfieren a los rodillos de impresión para imprimir en las bolsas el letrero o anuncio deseado, de acuerdo a las necesidades del cliente, se colectan en canastillas, se empaican y se almacenan para su entrega posterior.

La generación de aguas residuales se efectúa cuando se limpian los rodillos para formar las bolsas y los rodillos impresión con abundante agua y jabón al final del día o cuando se requieren otros colores o letreros en las bolsas de papel.

DIAGRAMA DE FLUJO ELABORACION DE BOLSAS

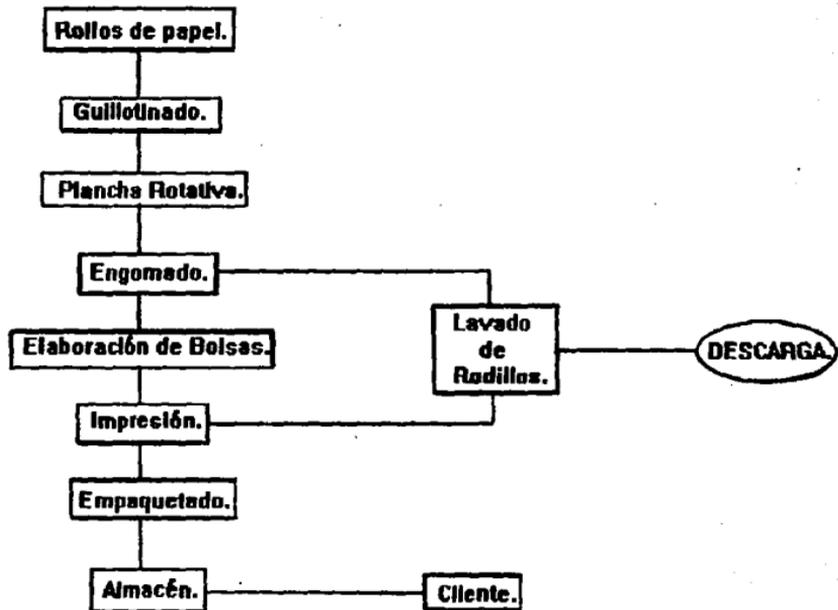
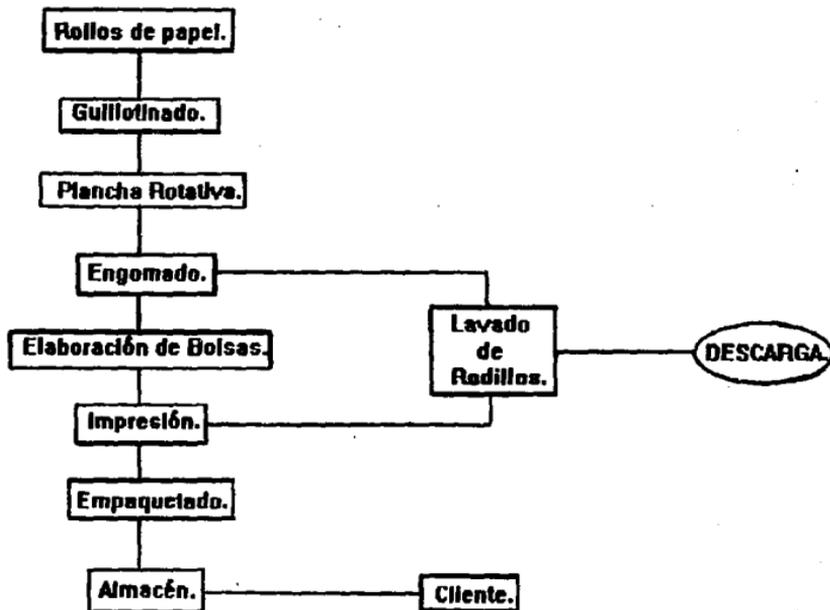


DIAGRAMA DE FLUJO ELABORACION DE BOLSAS



EMPRESA: B.

GIRO O ACTIVIDAD: Tintorería y Lavandería.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD	PRODUCTO	CANTIDAD
Ropa	Variable	1 Caldera de	100 C.C	Ropa y sábanas limpias	500 Kg/sem.
Sábanas	Variable	petróleo	800 l/mes		
Cloro	Variable	diáfano			
Detergen	Variable	2 Lavadoras	50 Kgs		
tes	Variable	1 Lavadora en	20 Kgs		
Suavizan		seco	600 l/mes		
tes		2 Tómbolas	60 Kgs		
		para secado			
		1 Compresora	3 H.P		
		2 Burros para			
		planchar a			
		vapor			
		1 Tina para			
		agua			

DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

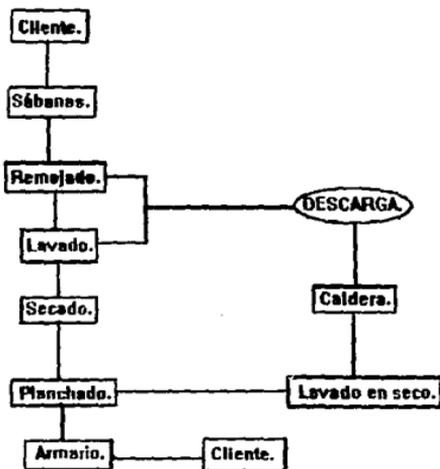
Se ponen las sábanas a remojar en una tina con agua y cloro, se agitan manualmente con paletas de madera durante 10 minutos, después de este lapso, se transfieren a las lavadoras para lavarlas con agua caliente, detergentes y suavizantes durante 5 minutos, a continuación se secan en las tómbolas de secado por centrifugación, se planchan a vapor y doblan, y se almacenan.

La generación de aguas residuales se lleva a cabo cuando se reemplaza el agua de remojado y lavado de las sábanas.

El lavado en seco se efectúa en la lavadora de gas nafta, en este proceso no hay generación de aguas residuales.

Al darle mantenimiento a la caldera cada 6 meses se generan aguas residuales, ya que se le ponen desincrustantes de sales.

DIAGRAMA DE FLUJO TINTORERIA Y LAVANDERIA



EMPRESA: C.

GIRO O ACTIVIDAD: Fotograbado en Lámina.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD	PRODUCTO	CANTIDAD
Láminas Zn	480 Kg/mes	1 Gullotina	Manual	Fotograbado en lámina	400 piezas al mes
Ac.	120 Kg/mes	2 Sierras	3 H.P		
Nítrico	72 Kg/mes	2 Rauters	2 H.P		
Revelador	18 Kg/mes	1 Prensa	Manual		
Fijador	17 Kg/mes	1 Lijadora	2 H.P		
Aditivo	21 kg/mes	de madera			
Esmalte	5 hojas de	1 Máquina	10 lts		
Madera	1.2*2,4 cm	grabadora			
Agua	Variable	1 Marco de vacío			
		1 Parrilla Tinas de revelado	Eléctrica		

DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

El cliente proporciona un boceto del esquema y/o documento que se desea reproducir, se realiza el dibujo y se fotografía, Posteriormente, se revela en las tinas de revelado, fijado y enjuagado, se dejan secar las fotografías.

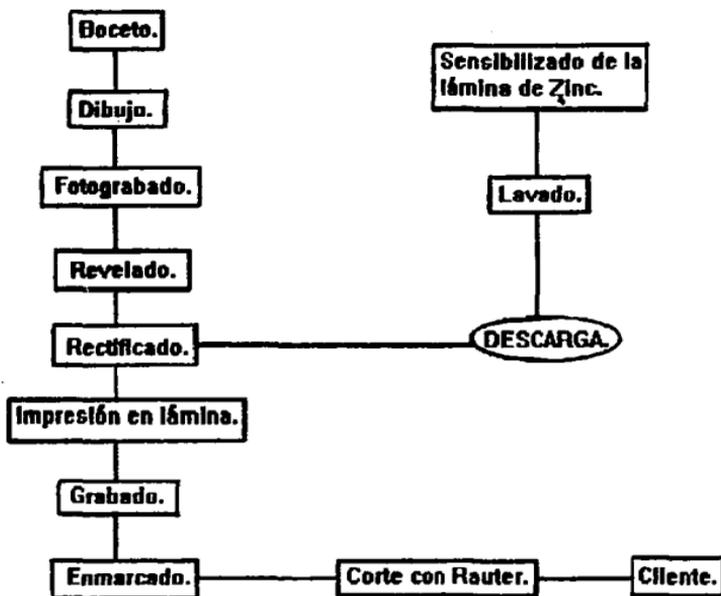
Una vez obtenido el negativo, se rectifica a mano en una mesa de vidrio a contra luz.

En otra área se sensibiliza la lámina de zinc sumergiéndola en una tina con esmalte durante 1 minuto, se saca y se enfría en la parrilla a fuego directo, se limpian los excesos de esmalte en un lavabo a chorro de agua. (1ª descarga). Una vez realizado lo anterior, se transportan a un marco de vacío donde se imprime la imagen del negativo a la lámina de Zinc por medio de luz ultravioleta.

Ya fijado el negativo a la lámina, se coloca en la máquina grabadora que contiene 10 litros de solución Ac. nítrico, aditivo (aceite de ricino) y agua durante 2.3 minutos, agitando mecánicamente para obtener el grabado en la lámina. (en esta fase se genera la 2ª descarga, al cambiar la solución 1 vez a la semana). A continuación se retiran las láminas y se dejan secar en mesas de madera a temperatura ambiente.

Una vez que se tiene grabada la lámina, se corta con rauter y se pega en trozos de madera previamente cortados y lijados para obtener así el grabado o cliché deseado para su distribución directa al cliente.

DIAGRAMA DE FLUJO FOTOGRAFADO EN LAMINA



EMPRESA: D.

GIRO O ACTIVIDAD: Elaboración de Grasas para Calzado.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD	PRODUCTO	CANTIDAD
Lámina de Al	490 Kg/mes	2 Calderas	75 C.C	Cremas y tintes para calzado	Variable
Cera abeja	300 Kg/mes	Troqueladoras	Manuales		
Cera carnauba	300 Kg/mes	6 Guillotinas	Manuales		
Cera candelilla	300 Kg/mes	3 Mezcladoras	150 lts		
Parafina					
Jabones con sebo	300 Kg/mes				
Aceite de coco	250 Kg/mes				
Sosa					
Aguarras	250 Kg/mes				
Ac. Esteárico					
Tintes y pinturas	150 Kg/mes				
	180 l/mes				
	100 Kg/mes				
	150 Kg/mes				

DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

Se saca la lámina de aluminio del almacén para llevarla al área de troquelado, allí por medio de guillotinas y troqueladoras se fabrica el envase, se transporta al área de litografía en donde se pinta el envase con pistola con el logotipo de la empresa en casetas de cortinas de agua.

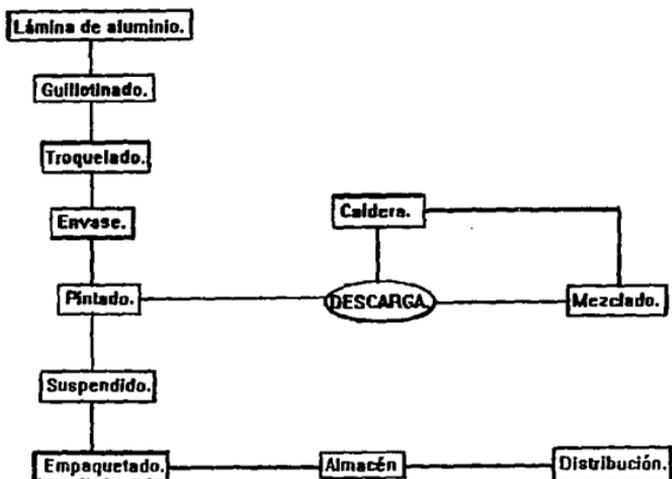
Una vez fabricados los envases se transfieren al área de suspendido y se colocan de forma ordenada en mesas de madera para ser llenados con el producto.

Mientras tanto, en otra zona, en reactores térmicos se funden con vapor y se mezclan las ceras, parafina, jabones de sebo, aceites, sosa, tintes y Ac. esteárico hasta obtener la consistencia deseada.

Posteriormente se toman ciertas cantidades de la mezcla con recipientes (cubetas) de 5 litros de capacidad abriendo la llave de paso del reactor. Después se llenan manualmente los envases anteriormente preparados en las mesas y se dejan enfriar a temperatura ambiente y se tapan, se empaican en cajas de cartón y se almacenan para la posterior venta.

Las descargas se efectúan al evacuar el agua de la caseta de pintado (2 veces al mes), de la purga de la caldera (3 veces al día) y del mantenimiento de la misma cada mes y del lavado diario del reactor y las áreas de trabajo con agua caliente y jabón.

DIAGRAMA DE FLUJO ELABORACION DE GRASAS



EMPRESA: E.**GIRO O ACTIVIDAD:** Elaboración de Sartenes para cocinar.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD	PRODUCTO	CANTIDAD
Lámina negra Baquelita Arena sílica Ac. crómico	3 Rollos/día Variable 10 Kgs/día Variable	3 Guillotinas 8 Troqueladoras 5 Samblasteadoras 2 Cámaras de pintado 1 Horno 1 Esmeril	Manuales Manuales Manuales Manuales 370°C Manual	Sartenes para cocinar	1000 pzs/día

DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

Se saca el rollo de lámina del almacén y se transporta al área de cortado, en donde se corta en tres diferentes tamaños con la guillotina manual. Estas hojas se transfieren al área de troquelado para formar el recipiente en tres diámetros (20, 22, 30 cm).

Posteriormente se llevan a las máquinas rechazadoras para verificar que el tamaño sea el adecuado.

A continuación se dirigen al área de samblasteo en donde se les aplica un chorro de arena sílica, pasan después a la cámara de pintado y se les rocía una capa de primer con ácido crómico a presión. Se sacan y se lavan con agua limpia para quitar excesos. (descarga).

Se transportan al horno en carritos de capacidad para 40 piezas, para someterlos al templado a 365°C durante 15 minutos, después de este lapso de tiempo se sacan y se dejan enfriar a temperatura ambiente, ya enfriados, se pulen con el esmeril.

Mientras tanto, en otra área se fabrican los mangos del sartén con la baquelita por medio de prensas y se pintan en otra cabina de pintado.

Finalmente, se ensamblan las piezas en el área de remachado, se verifica su calidad, se empaican y se almacenan para su posterior distribución.

DIAGRAMA DE FLUJO ELABORACION DE SARTENES

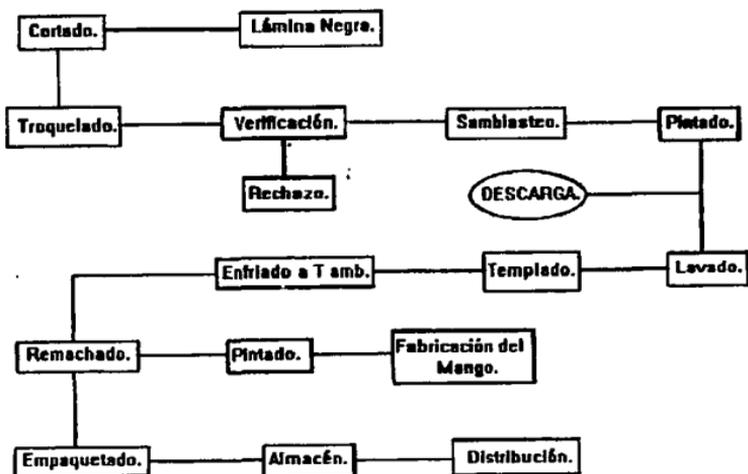
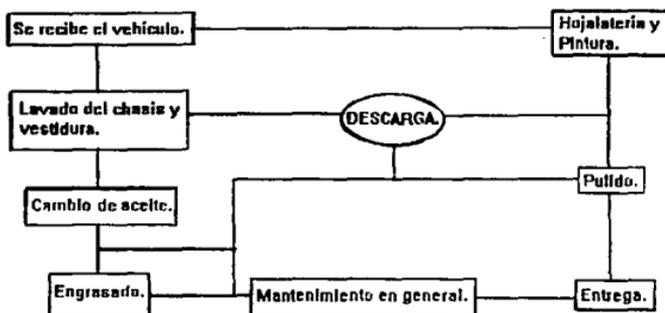


DIAGRAMA DE FLUJO TALLER AUTOMOTRIZ



Este proceso puede variar según las necesidades del cliente.

TABLA 1.9
RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES.

MTE-CCA-031/91			EMPRESA					
PARAM	U	LMFD	A	B	C	D	E	F
T	°C	20	20.4	20.0	21.0	44.7	20.0	22.0
pH	UpH	6-9	7.8	6.6	6.9	10.4	7.9	7.0
SS	ml/l	5.0	3.1	1.0	9.0	2.2	1.0	110.0
C.e.	µm/cm	1E4	0.072	0.149	0.029	0.105	0.104	0.135
G y A	mg/l	70.0	41.3	34.2	48.0	351.0	66.5	72.4
CN	mg/l	1.0	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
F	mg/l	30.0	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Fenol	mg/l	5.0	0.32	0.00	0.15	0.80	0.46	0.46
SAAM	mg/l	30.0	38.2	76.0	24.0	14.8	6.3	52.2
Zn	mg/l	6.0	14.0	0.12	30.2	40.0	18.4	18.0
Al	mg/l	10.0	34.0	28.0	72.0	20.0	56.0	56.0
As	mg/l	2.0	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Cd	mg/l	0.5	0.09	0.08	0.14	0.40	2.8	0.36
Cu	mg/l	5.0	104.0	0.9	4.7	6.24	0.98	3.72
Cr ₇	mg/l	2.5	340.0	0.4	46.0	1.6	1,650	0.40
Cr ⁺⁶	mg/l	0.5	0.02	0.3	10.0	0.01	21.0	0.15
Hg	mg/l	0.01	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Ni	mg/l	4.0	1.06	0.38	0.52	0.18	0.08	0.71
Ag	mg/l	1.0	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Pb	mg/l	1.0	1.72	1.01	1,600	2.8	0.20	16.4

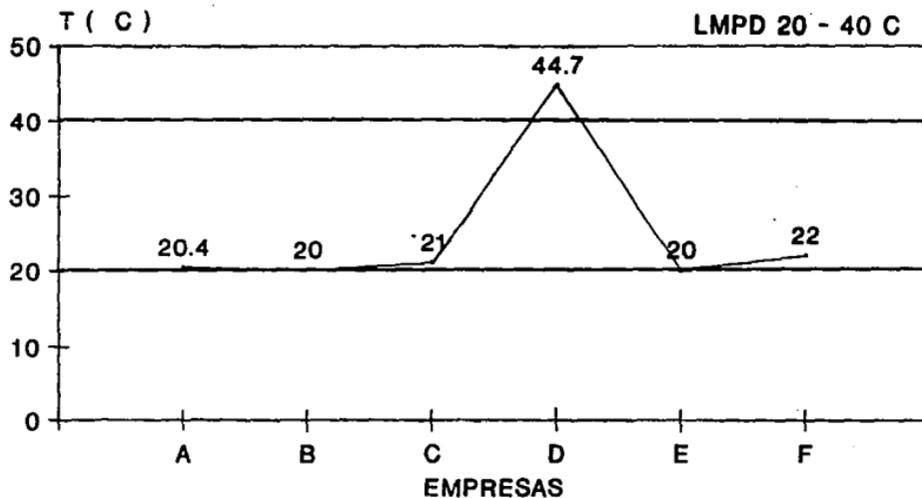
N.A.- No Analizado.

1

1 GIRO O ACTIVIDAD DE LA EMPRESA

- A.- Elaboración de bolsas de papel.
- B.- Tintorería y Lavandería.
- C.- Fotograbado en lámina.
- D.- Elaboración de grasas para calzado.
- E.- Elaboración de sartenes para cocina.
- F.- Taller automotriz.

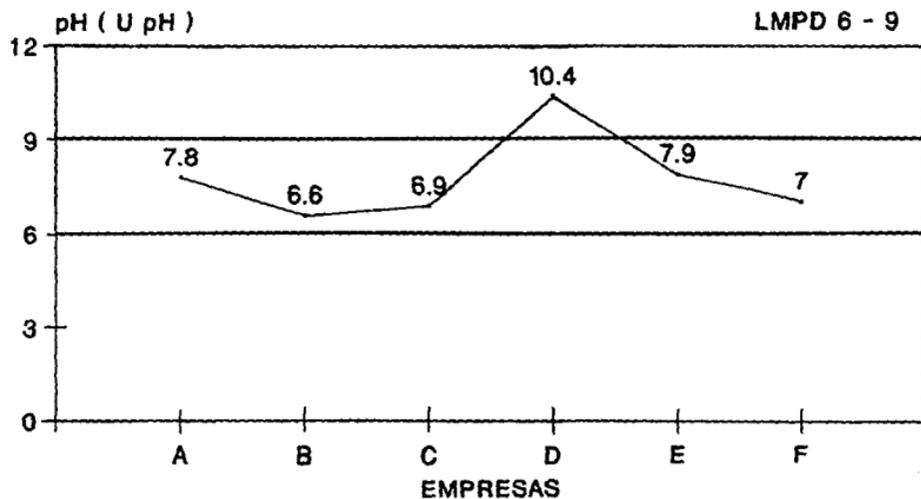
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN TEMPERATURA



— GRAFICA 1

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

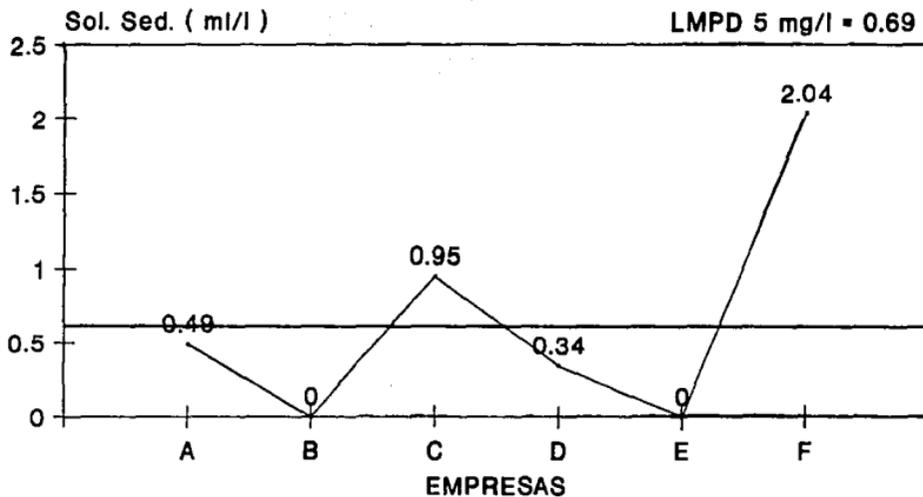
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN POTENCIAL DE HIDROGENO



— GRAFICA 2

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permisible Diario.
NTE-CCA-031/91.

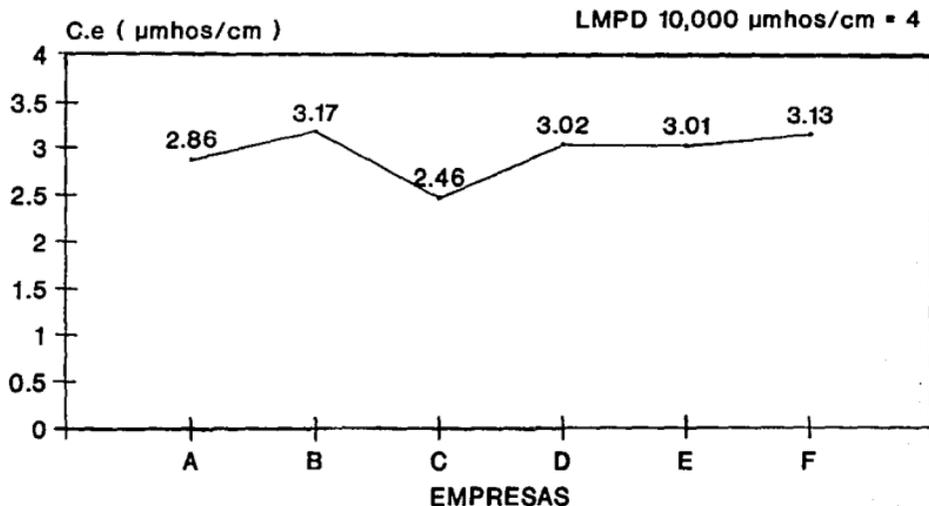
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN SOLIDOS SEDIMENTALES



— GRAFICA 3

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permisible Diario.
NTE-CCA-031/91.

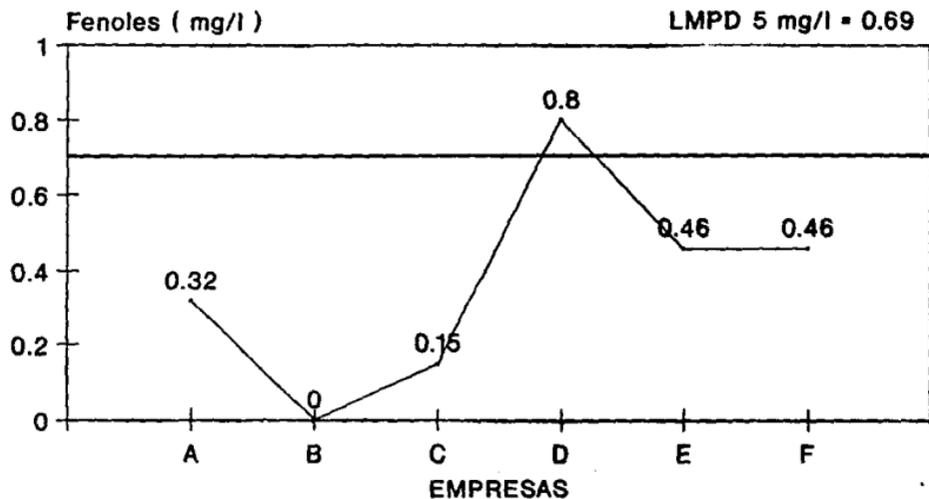
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN CONDUCTIVIDAD ELECTRICA



— GRAFICA 4

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permisible Diario.
NTE-CCA-031/91.

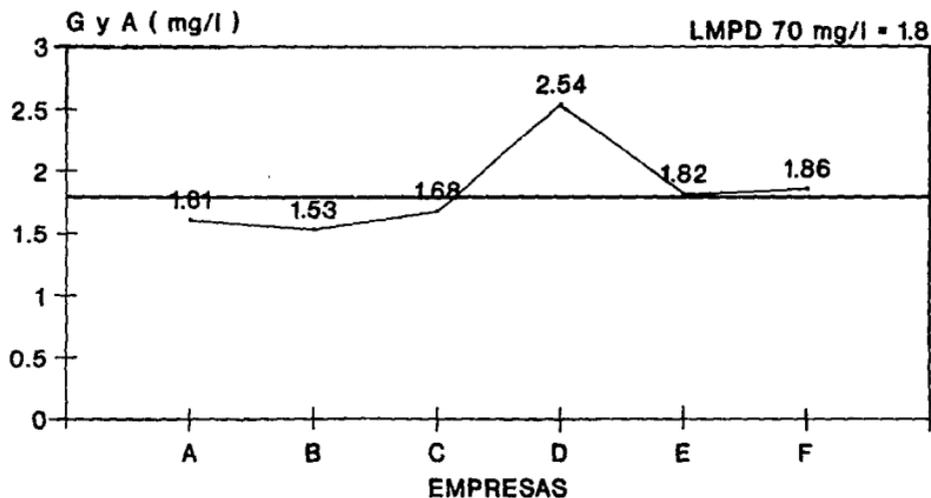
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN FENOLES



— GRAFICA 5

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91

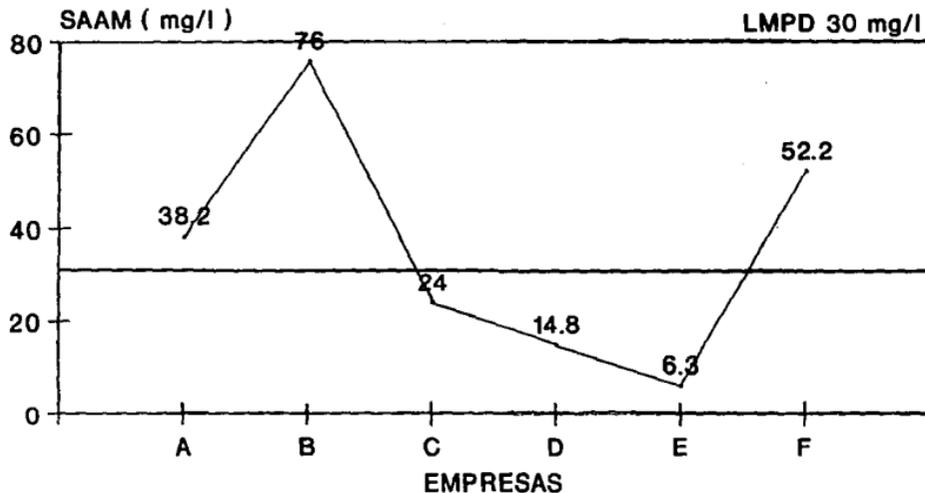
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN GRASAS Y ACEITES



GRAFICA 6

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permisible Diario.
NTE-CCA-031/91.

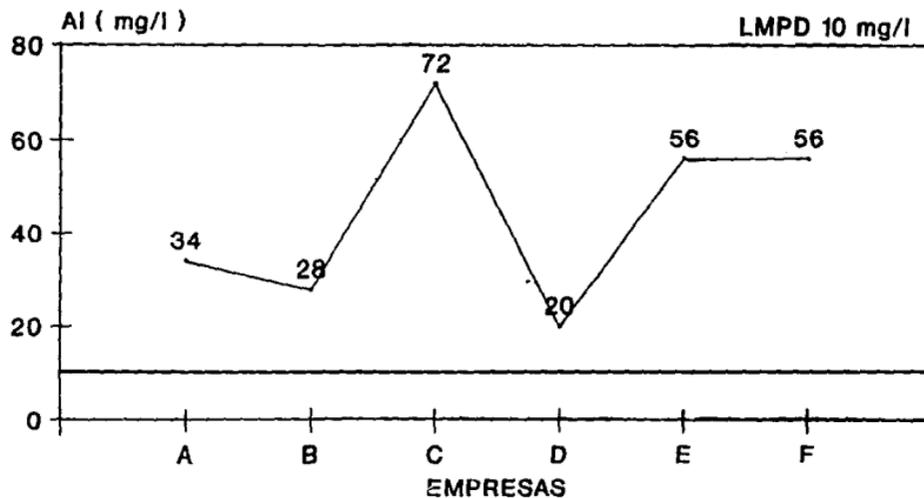
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO



— GRAFICA 7

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

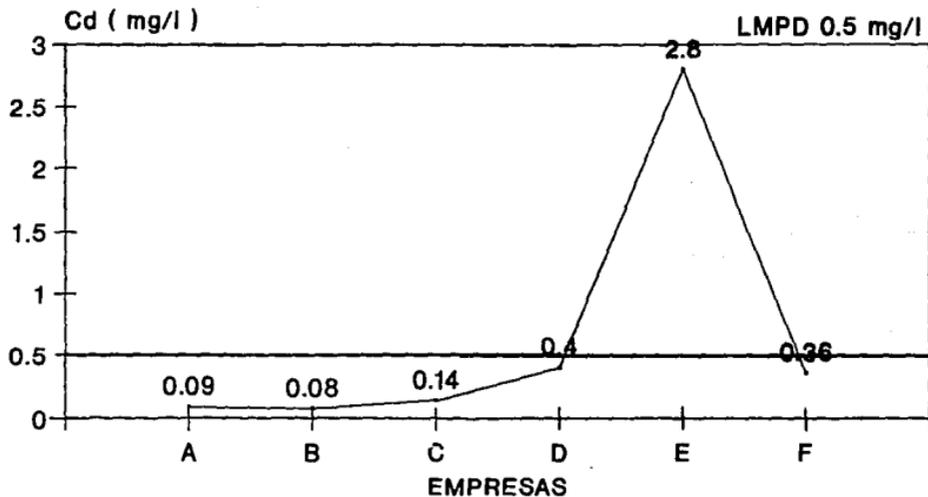
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN ALUMINIO



— GRAFICA 8

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

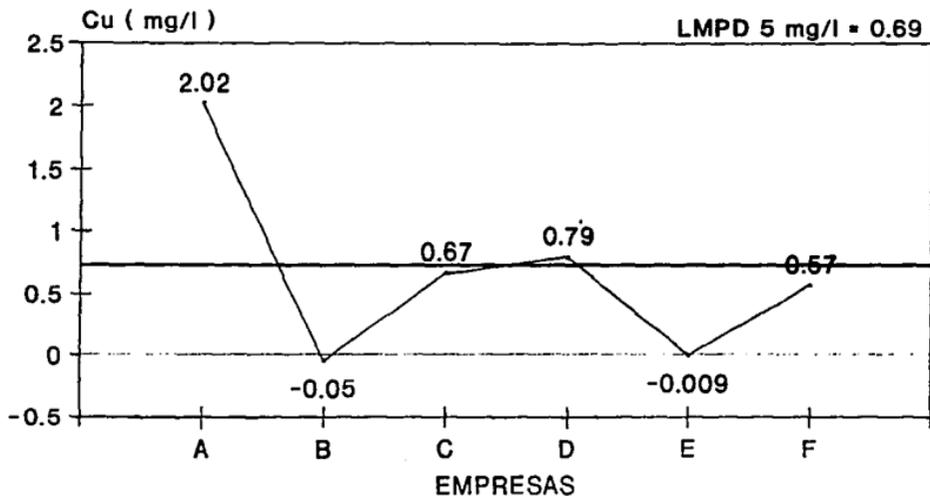
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN CADMIO



— GRAFICA 9

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

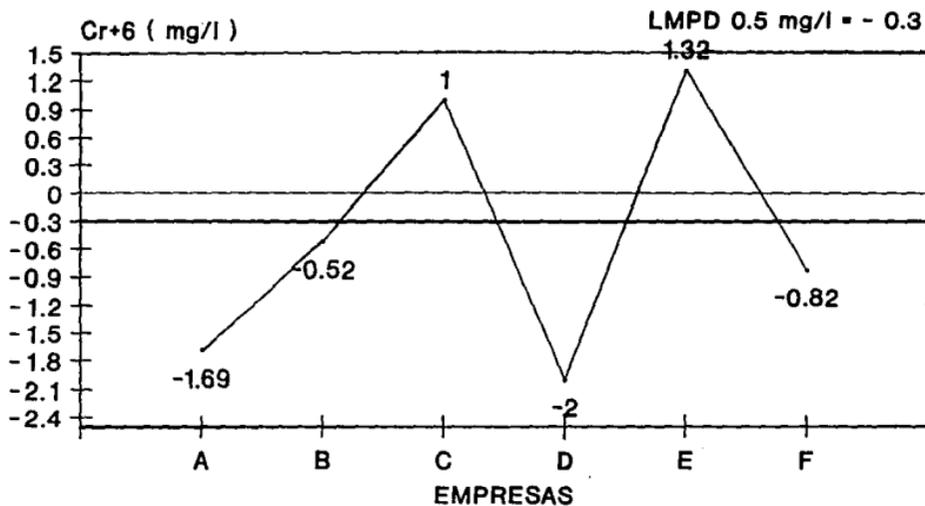
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN COBRE



— GRAFICA 10

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

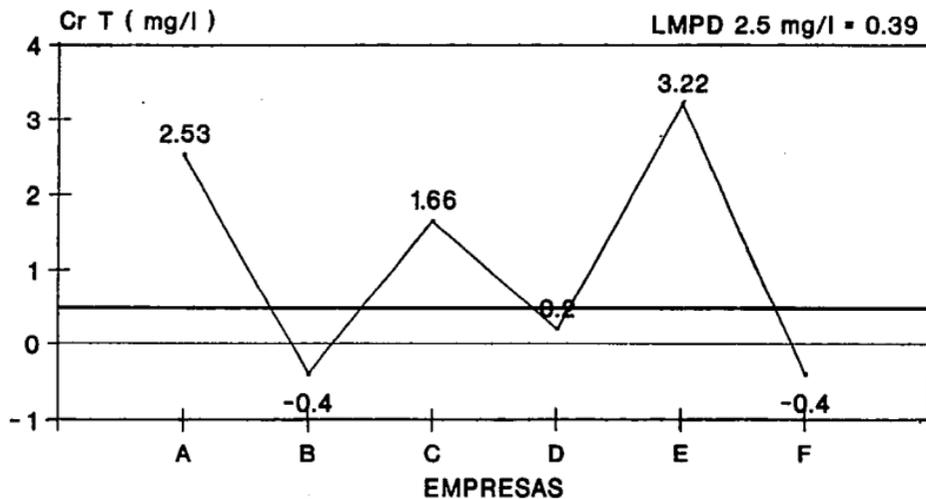
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN CROMO HEXAVALENTE



— GRAFICA 11

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permisible Diario.
NTE-CCA-031/91.

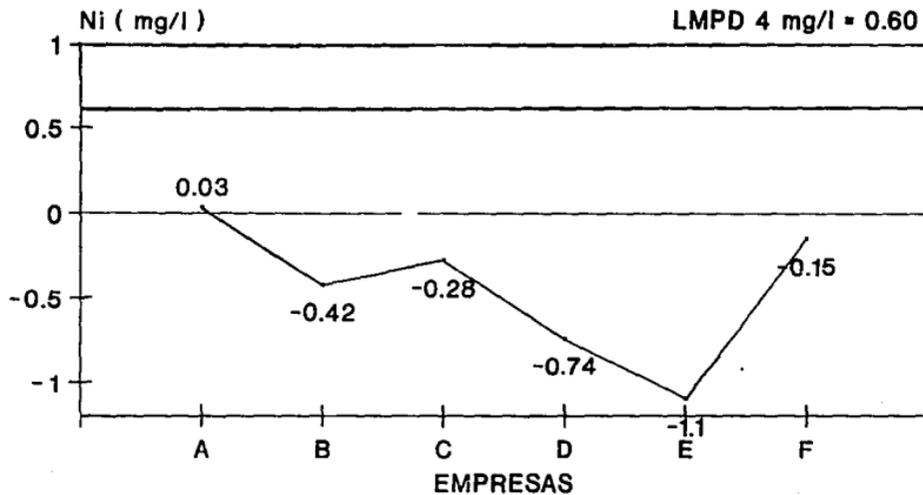
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN CROMO TOTAL



— GRAFICA 12

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permisible Diario.
NTE-CCA-031/91.

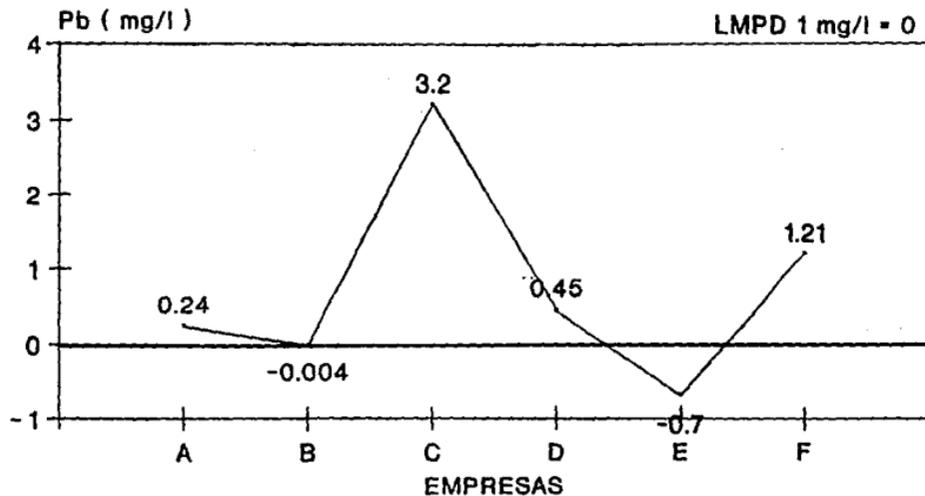
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN NIQUEL



— GRAFICA 13

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

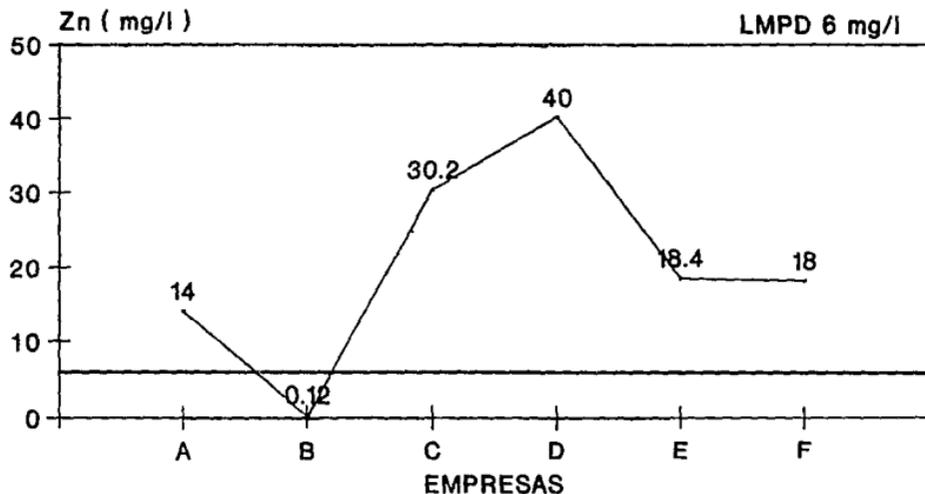
EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN PLOMO



— GRAFICA 14

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

EMPRESAS QUE EXCEDEN EL L.M.P.D EN ZINC



— GRAFICA 15

L.M.P.D.-
Límite Máximo Permissible Diario.
NTE-CCA-031/91.

TABLA 1.10

PROPORCION DE CONTAMINANTES QUE EXCEDEN LA NORMA TECNICA
ECOLOGICA POR EMPRESA.

EMPRESA						
PARAMETRO	A	B	C	D	E	F
T				1.1		
pH				1.5		
SS			1.8			22.0
C.e						
G y A				5.0		1.0
CN						
F						
Fenoles						
SAAM	1.3	2.5				1.7
Zn	2.3		5.0	6.7	3.0	3.0
Al	3.4	2.8	7.2	2.0	5.6	5.6
As						
Cd					5.6	
Cu	20.8			1.2		
Cr ₃	136.0		18.4		660.0	
Cr ⁺⁶			20.0		42.0	
Hg						
Ni						
Ag						
Pb	1.7		1,600	2.8		16.4

TABLA 1.11

RELACION DE EMPRESAS QUE NO SATISFACEN LOS CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA.

1) FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

EMPRESA	PARAMETROS QUE EXCEDEN LOS CRITERIOS DE CALIDAD
A	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni, Pb.
B	G y A, SAAM, Al, Cd, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.
C	G y A, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.
D	T, G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni, Pb.
E	G y A, Fenoles, SAAM, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Zn, Ni, Pb.
F	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.

2) RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO.

EMPRESA	PARAMETROS QUE EXCEDEN LOS CRITERIOS DE CALIDAD
A	G y A, Fenoles
B	G y A, Fenoles
C	G y A, Fenoles
D	G y A, Fenoles
E	G y A, Fenoles
F	G y A, Fenoles

3) RIEGO AGRICOLA.

EMPRESA	PARAMETROS QUE EXCEDEN LOS CRITERIOS DE CALIDAD
A	G y A, Zn, Al, Cd, Cu, Ni.
B	G y A, Al, Cd, Cu, Ni.
C	G y A, Zn, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb ²
D	G y A, C.e, Zn, Al, Cd, Cu.
E	G y A, C.e, Zn, Al, Cd, Cr ⁺⁶ .
F	G y A, C.e, Zn, Al, Cd, Cu.

TABLA 1.11
CONTINUACION.

RELACION DE EMPRESAS QUE NO SATISFACEN LOS CRITERIOS ECOLOGICOS
DE CALIDAD DEL AGUA.

4) PECUARIO.

EMPRESA	PARAMETROS QUE EXCEDEN LOS CRITERIOS DE CALIDAD
A	G y A, Al, Cd, Cu, Ni, Pb.
B	G y A, Al, Cd, Cu.
C	G y A, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Pb.
D	G y A, Al, Cd, Cu, Pb.
E	G y A, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Pb.
F	G y A, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Pb.

5.a) PROTECCION DE LA VIDA ACUATICA (AGUA DULCE).

EMPRESA	PARAMETROS QUE EXCEDEN LOS CRITERIOS DE CALIDAD
A	G y A, Fenoles, SAAM, Al, Cr ⁺⁶ .
B	G y A, SAAM, Al, Cr ⁺⁶ .
C	G y A, Fenoles, SAAM, Al, Cr ⁺⁶ .
D	G y A, Fenoles, SAAM, Al.
E	G y A, Fenoles, SAAM, Al, Cr ⁺⁶ .
F	G y A, Fenoles, SAAM, Al, Cr ⁺⁶ .

5.b) PROTECCION DE LA VIDA ACUATICA (AGUA MARINA/ZONAS COSTERAS).

EMPRESA	PARAMETROS QUE EXCEDEN LOS CRITERIOS DE CALIDAD
A	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni, Pb.
B	G y A, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.
C	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.
D	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni, Pb.
E	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.
F	G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr ⁺⁶ , Ni, Pb.

**TABLA 1.11
CONTINUACION**

**RELACION DE PARAMETROS PARA LAS EMPRESAS EVALUADAS QUE NO CUMPLEN
CON LOS CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA.**

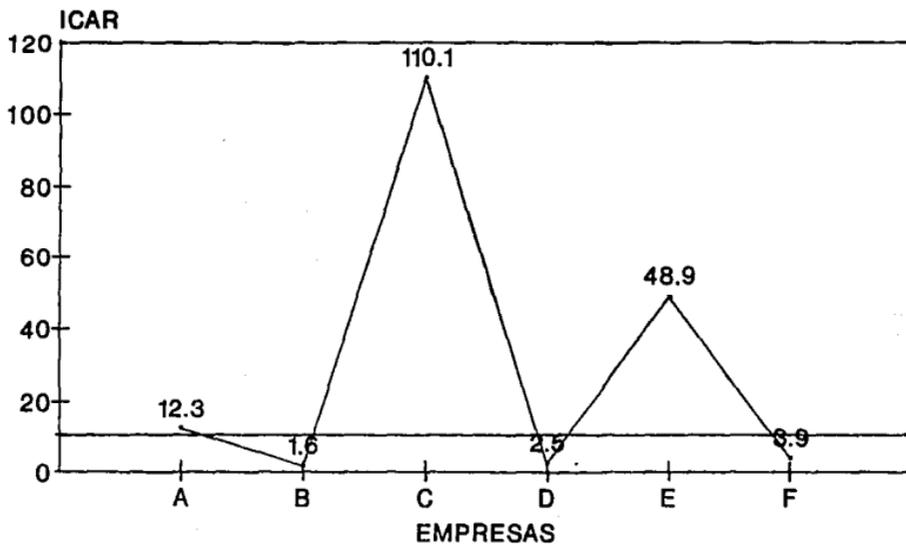
CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA					
A	B	C	D	E	F
T					
G y A	G y A	G y A	G y A	G y A	G y A
SAAM				SAAM	
Fenoles	Fenoles			Fenoles	Fenoles
Al		Al	Al	Al	Al
Cd		Cd	Cd		Cd
Cu		Cu	Cu		Cu
Ni		Ni	Ni		Ni
Pb		Pb	Pb		Pb
Cr⁺⁶		Cr⁺⁶	Cr⁺⁶	Cr⁺⁶	
Zn		Zn			Zn
		C.e			

(Ver Cuadro del Anexo A).

TABLA 1.12
RESULTADOS DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES
(ICAR).

EMPRESA	ICAR	INFLUENCIA INDUSTRIAL
A	12.3	Muy Alta
B	1.6	Aparentemente Nula
C	110.1	Muy Alta
D	2.5	Aparentemente Nula
E	48.9	Muy Alta
F	3.9	Baja

RESULTADOS DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES



— GRAFICA 16

TABLA 1.13
ANALISIS DE CORRELACION.

X		Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	Y_F
T	20	20.4	20.0	21.0	44.7	20.0	22.0
pH	7	7.8	6.6	6.9	10.4	7.9	7.0
S.S	5	3.1	1.0	9.0	2.2	1.0	110.0
C.e	10000	720	1490	290	1050	1040	1350
G y A	70	41.3	34.2	48.0	351	66.5	72.4
Fenoles	5	0.32	0.0	0.15	0.80	0.46	0.46
SRAM	30	38.2	76.0	24.0	14.8	6.3	52.2
Sn	6	14.0	0.12	30.2	40.0	18.4	18.0
Al	10	34.0	28.0	72.0	20.0	56.0	56.0
Cd	0.5	0.09	0.08	0.14	0.40	2.8	0.36
Cu	5	104	0.9	4.7	6.24	0.98	3.72
Cr _T	2.5	340	0.4	46.0	1.6	1650	0.40
Cr _T ⁶	0.5	0.02	0.3	10.0	0.01	21.0	0.15
Ni	4	1.06	0.38	0.52	0.18	0.08	0.71
Pb	1	1.72	0.1	1600	2.8	0.20	16.4
$\sum \frac{X}{Y}$		0.8957 0.8022	0.9987 0.9974	0.0976 0.0095	0.9492 0.9010	0.4853 0.2356	0.9957 0.9915
% Relación		80.22	99.74	0.95	90.10	23.56	99.15
Correlación X,Y		E	E	No E	E	No E	E
Tipo Correlación		Directa	Directa	Nula	Directa	Nula	Directa
$\sum p$		0.720 < Z_p < 0.980	0.995 < Z_p < 0.999	0.437 < Z_p < 0.581	0.851 < Z_p < 0.983	0.035 < Z_p < 0.798	0.987 < Z_p < 0.999

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados muestran únicamente aquellos parámetros que se encuentran en su proceso de producción o materia prima, es por esta razón que no se analizaron Cianuros, Flúor, Arsénico, Mercurio y Plata. Los resultados muestran lo siguiente:

a) Con respecto al Artículo 42 de la NTE - CCA - 031/91.

Los parámetros que presentan concentraciones superiores al Límite Máximo Permisible Diario son doce: Temperatura (T), Potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Sedimentables (S.S), Grasas y Aceites (G y A), Substancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Zinc (Zn), Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo total (Cr^T), Cromo hexavalente (Cr⁺⁶) y Plomo (Pb); distribuidos de la siguiente forma:

Empresa A, (Elaboración de bolsas de papel) en los seis parámetros siguientes: SAAM, Zn, Al, Cu, Cr_T y Pb.

Empresa B, (Tintorería y Lavandería) que es la que presenta el menor número de parámetros por arriba de la Norma (dos), y que son: SAAM y Al.

Empresa C, (Fotograbado en lámina) en los seis parámetros siguientes: Sol. Sed, Zn, Al, Cr⁺⁶, Cr_T y Pb.

Empresa D, (Elaboración de grasas para calzado) que es la que presenta el mayor número de parámetros por arriba de la Norma (siete), y que son: T, pH, G y A, Zn, Al, Cu y Pb.

Empresa E, (Elaboración de sartenes para cocinar) en los cinco parámetros siguientes: Zn, Al, Cd, Cr⁺⁶ y Cr_T.

Empresa F, (Taller automotriz) en los seis parámetros siguientes: Sol. Sed, G y A, SAAM, Zn, Al y Pb.

Además, como puede apreciarse, las 6 empresas presentan problemas por Aluminio.

5 empresas problemas por Zinc (A, C, D, E, F).

4 empresas problemas por Plomo (A, C, D, F).

3 empresas problemas por Sustancias Activas al Azul de Metileno (A, B, F) y Cromo Total (A, C, E).

2 empresas problemas por Sólidos Sedimentables (C, F), Grasas y Aceites (D, F), Cromo hexavalente (C, E) y Cobre (A, D), respectivamente.

1 sola empresa problemas por Temperatura y Potencial de Hidrógeno (D) y Cadmio (E), respectivamente.

Como puede apreciarse, ninguna de las descargas evaluadas se encuentra por debajo de su límite máximo permisible, infringiendo el artículo 4º de dicha norma.

b) De acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89.

Las empresas evaluadas presentan concentraciones superiores a los Criterios de Calidad del Agua en algunos parámetros para los diferentes usos de agua, y se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

1) FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

La empresa A presenta nueve parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni y Pb.

La empresa B presenta siete parámetros:
G y A, SAAM, Al, Cd, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

La empresa C presenta nueve parámetros:
G y A, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

La empresa D presenta diez parámetros:
T, G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni y Pb.

La empresa E presenta diez parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Al, Cr⁺⁶, Cd, Cu, Zn, Ni y Pb.

La empresa F presenta diez parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

Como puede notarse, para el empleo de éste tipo de aguas las 6 empresas presentan problemas por: G y A, SAAM, Al, Cd, Ni y Pb.

5 empresas (A, C, D, E, F) problemas por Zn y Cu, respectivamente.

4 empresas problemas por Fenoles (A, D, E, F) y Cr⁺⁶ (B, C, E, F), y 1 empresa por T (D).

En resumen, los parámetros que están por arriba de este Criterio de Calidad son: T, G y A, SAAM, Fenoles, Al, Cd, Cu, Ni, Pb, Cr⁺⁶ y Zn.

2) RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO.

Para este uso, las 6 empresas presentan concentraciones de contaminantes superiores al Criterio de Calidad en dos parámetros: G y A y Fenoles.

3) RIEGO AGRICOLA.

La empresa A presenta seis parámetros:
G y A, Zn, Al, Cd, Cu y Ni.

La empresa B presenta cinco parámetros:
G y A, Al, Cd, Cu y Ni.

La empresa C presenta ocho parámetros:
G y A, Zn, Al, Cd, Cu, Cr+6, Ni y Pb.

La empresa D presenta seis parámetros:
G y A, C.e, Zn, Al, Cd y Cu.

La empresa E presenta seis parámetros:
G y A, C.e, Zn, Al, Cd y Cr⁺⁶.

La empresa F presenta seis parámetros:
G y A, C.e, Zn, Al, Cd, Cu.

Para el empleo de este tipo de agua, las 6 empresas presentan valores superiores a los Criterios de Calidad en G y A, Al y Cd.

5 empresas problemas por Zn (A, C, D, E, F) y Cu
(A, B, C, D, F).

4 empresas problemas por Ni (A, B, C, F).

3 empresas problemas por Cr+6 (C, E, F), y C.e (D, E, F),
y

1 empresa problemas por Pb (C).

Los parámetros que están por encima de este Criterio de Calidad son nueve: G y A, Zn, Al, Cd, Ni, Cr⁺⁶, Cu, Pb y Conductividad eléctrica.

4) PECUARIO.

La empresa A presenta seis parámetros:
G y A, Al, Cd, Cu, Ni y Pb.

La empresa B presenta cuatro parámetros:
G y A, Al, Cd, y Cu.

La empresa C presenta seis parámetros:
G y A, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶ y Pb.

La empresa D presenta cinco parámetros:
G y A, Al, Cd, Cu, y Pb.

La empresa E presenta seis parámetros:
G y A, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶ y Pb.

La empresa F presenta seis parámetros:
G y A, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶ y Pb.

Para este uso, las 6 empresas presentan problemas por:
G y A, Al, Cd, Cu

5 empresas problemas por Pb (A,C,D,E,F).

3 empresas problemas por Cr⁺⁶ (C,E,F).

La empresa A por problemas de Ni.

Los parámetros que están por encima para este Criterio de Calidad son siete: G y A, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

5) PROTECCION DE LA VIDA ACUATICA.**5.a) AGUA DULCE.**

La empresa A presenta cinco parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Al y Cr⁺⁶.

La empresa B presenta cuatro parámetros:
G y A, SAAM, Al y Cr⁺⁶.

La empresa C presenta cinco parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Ad y Cr⁺⁶.

La empresa D presenta cuatro parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM y Al.

La empresa E presenta cinco parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Al y Cr⁺⁶.

La empresa F presenta cinco parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Al y Cr⁺⁶.

Para este empleo, las 6 empresas presentan problemas por:
G y A, SAAM y Al.

5 empresas problemas por Fenoles (A, C, D, E, F) y Cr⁺⁶
(A, B, C, E, F).

Los parámetros que están por encima de este Criterio de
Calidad son cinco: G y A, Fenoles, SAAM, Al y Cr⁺⁶.

5.b) AGUA MARINA (ZONAS COSTERAS).

La empresa A presenta nueve parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni y Pb.

La empresa B presenta nueve parámetros:
G y A, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

La empresa C presenta nueve parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

La empresa D presenta nueve parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni y Pb.

La empresa E presenta diez parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

La empresa F presenta diez parámetros:
G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Cr⁺⁶, Ni y Pb.

Para el empleo de este tipo de agua las 6 empresas
presentan problemas por: G y A, SAAM, Zn, Cd, Cu, Ni y Pb.

5 por Fenoles (A, C, D, E, F,) y Al (A, B, D, E, F).

Los parámetros que están por arriba de este Criterio de
Calidad son nueve: G y A, Fenoles, SAAM, Zn, Al, Cd, Cu, Ni
y Pb.

En general, como pudo observarse las 6 empresas evaluadas no
cumplen con los diferentes Criterios de Calidad en G y A.

Finalmente, podemos concluir de este análisis que a ninguna
descarga de las empresas evaluadas se les puede emplear en
ningún tipo de uso, ya que todas presentan en la mayoría de los
casos, concentraciones superiores en algunos parámetros a los
Criterios de Calidad del Agua establecidos.

c) Respecto al Índice de Calidad del Agua (ICA).

Se observó que este método no se puede aplicar a la norma por varias razones.

La fórmula del ICA involucra para el análisis 18 parámetros, de los cuales solamente 5 (C.e, pH, S.S, G y A y SAAM) se encuentran en la NTE-CCA-031/91 y no considera metales pesados que son los que más emplea la norma.

Para el caso de SAAM, al sustituir los valores al índice individual, I_{SAAM} en la ecuación, se obtienen resultados negativos. Para el caso de los restantes parámetros se obtiene el comportamiento deseado, es decir, cuanto más contaminada este el agua, su ICA se alejará del 100% de calidad.

Al sustituir estos valores I individuales en la fórmula general, encontramos valores que se alejan muy por arriba del resultado esperado, ya que influye de manera importante el I_{SAAM} .

Otro factor que influye de manera significativa, es el valor que se le asigne al peso de importancia del parámetro W_i , ya que al asignar valores cercanos a 5, se obtendrán valores muy próximos al 100% de calidad, mientras que si asignamos valores diferentes a 5, se obtienen aguas contaminadas.

Las conclusiones a las que se llegaron para este método es que al emplear solamente 5 parámetros en la prueba, los resultados obtenidos son poco confiables.

Por otra parte, se cree que es necesario incluir metales pesados, para que el análisis se considere como un método confiable de prueba, debido a que éstos también se generan en las diferentes actividades industriales, y revisar las ecuaciones para evitar errores en los resultados.

**d) En relación al Índice de Calidad de Aguas Residuales.
(ICAR).**

Se encontró que las empresas A, C y E presentan una Influencia Industrial muy alta, esto se debe a que cada una contiene un parámetro con una concentración bastante alta (Cromo Total, Plomo y Cromo Total, respectivamente) en sus descargas, y que en proporción a su Límite Máximo Permisible Diario, exceden en 136, 1,600 y 660 veces a la Norma. Por otra parte, se observó que también existen otros parámetros que presentan una proporción un poco alta y que en conjunto con los anteriores influyen de forma predominante en la obtención de aguas altamente contaminadas.

La empresa F presenta una Influencia Industrial Baja, que aunque presenta seis parámetros que exceden a la Norma, sus proporciones con respecto a su límite Máximo Permisible Diario no son tan elevadas, pero que contribuyen significativamente en la presencia de aguas contaminadas.

La empresa B y D presentan, una Influencia Industrial aparentemente nula. Aunque como se apuntó anteriormente, que la empresa B es la que tiene el menor número de parámetros por encima de la Norma (dos) y la empresa D, la que tiene el mayor número (siete), sus proporciones no son tan elevadas, pero que indican problemas de contaminación en sus descargas.

Como puede observarse el ICAR no considera el número de contaminantes, si no más bien la concentración de éstos, ya que como se describió anteriormente, en el caso de la empresa D, ésta presenta el mayor número de contaminantes pero sus concentraciones son relativamente bajas con respecto a su límite, y no presenta ningún parámetro excesivamente elevado como es en el caso de las empresas A, C y E.

e) Considerando el Análisis de Correlación.

La Tabla muestra que para cuatro empresas (A, B, D, F) existe una correlación alta positiva o directa entre las Variables (Límite Máximo Permisible Diario y resultados obtenidos), con un porcentaje de relación que varía del 80-99% y que para una probabilidad de ocurrencia al 5% de significancia el grado de relación se encuentra dentro del rango calculado.

Para las dos restantes empresas (C, E) se encontró que existe una correlación nula entre las variables con un porcentaje de relación relativamente bajo 0.9-23.5% y que para una probabilidad de ocurrencia al 5% de significancia el grado de relación se encuentra fuera del rango calculado.

Como puede apreciarse existen tres empresas que se aproximan demasiado a una correlación del 100%. La empresa B presenta una relación del 99.7%, ésto se debe a que solamente existen 2 parámetros por encima de su LMPD y sus proporciones de descarga no son tan altos.

La empresa F muestra una relación un poco más baja que la anterior, con un 99.1%, que aunque tiene 6 parámetros por arriba de su LMPD, las proporciones de descarga no son muy significativas.

La empresa D tiene una relación del 90.1%, aunque esta empresa tiene el mayor número de parámetros por encima de su LMPD (siete), sus proporciones de descarga no son tan elevadas.

La empresa A tiene una relación del 80.2% y presenta seis parámetros por arriba de su LMPD, sus proporciones de descarga son relativamente bajas, excepto Cr_T .

La empresa E tiene una relación muy baja 23.5%, presentando cinco parámetros por arriba del LMPD, teniendo mayor significancia al Cr_T .

La empresa C posee una relación bastante baja 0.95%, presentando seis parámetros encima de la Norma, teniendo mayor significancia el Plomo.

Con base en este análisis, se puede concluir que se observa la siguiente tendencia:

A medida que se encuentran concentraciones bajas de contaminantes, o que no están muy por encima de la Norma en el agua, la Variación entre las Variables X,Y (L.M.P.D, resultados obtenidos) se aproximan al 100% y el tipo de correlación entre las mismas será alta positiva o directa, sin considerar el número de parámetros.

Inversamente, altas concentraciones de contaminantes o que se encuentran muy por arriba de su LMPD, la relación entre las variables presentará una tendencia hacia el 0% y el tipo de correlación será nula, sin importar el número de parámetros que se encuentren por arriba de la Norma.

Con base en el diagnóstico realizado, y con la finalidad de reducir, prevenir y controlar la contaminación del agua generada por estas empresas, se plantean las siguientes alternativas de solución:

- Cambio de la materia prima por otras que contengan menor cantidad de contaminantes en su composición, evaluando para ello la calidad y cantidad de la misma con respecto al producto terminado.
- Cambios en los procesos de producción por técnicas más avanzadas para generar menor cantidad de desechos.
- Modificaciones en el equipo industrial, ya sea reemplazando el equipo deteriorado por nuevo, o dándole mantenimiento periódico, que es lo recomendable.
- Utilización de subproductos y desechos, ya sea de forma comercial o reintegrándolos al proceso de producción.
- Recirculación del agua empleada en el proceso de producción.

En caso de que lo anteriormente mencionado no sea posible, es aconsejable someter a las aguas residuales a un sistema de tratamiento antes de descargarlas.

En este apartado, con base en el análisis realizado, las necesidades de las empresas evaluadas y bibliografía consultada (ver anexo B) se recomiendan las siguientes opciones de tratamiento:

TABLA 1.14

TRATAMIENTO PROPUESTO PARA LAS EMPRESAS EVALUADAS.

TRATAMIENTO	EMPRESA					
	A	B	C	D	E	F
PRELIMINAR O PRETRATAMIENTO						
REJAS						
CRIBAS	***	***				
DESMENUZADOR						
DESARENADOR			***		***	
T. SEPARADOR DE GRASAS				***		***
COLECTOR DE GRASAS	***					
PREAIREACION						
PRIMARIO O DE SEDIMENTACION						
A						
B						
C						
D						
E						
F						
FOSA SEPTICA	***					***
TANQUE IMHOFF		***				
TANQUE DE IGUALACION				***		
TANQUE DE MEZCLADO						
TANQUE DE FLOTACION						
TRATAMIENTO QUIMICO	***		***	***	***	***
DESINFECCION	***	***	***	***	***	***
SECUNDARIO O BIOLÓGICO						
A						
B						
C						
D						
E						
F						
FILTRO GOTEADOR			***			
LODOS ACTIVADOS					***	***
FILTRO INTERMITENTE				***		
FOSA DE OXIDACION	***	***				
LAGUNA DE OXIDACION						

**TABLA 1.14
CONTINUACION**

TRATAMIENTO PROPUESTO PARA LAS EMPRESAS EVALUADAS.

TRATAMIENTO	EMPRESA					
	A	B	C	D	E	F
TERCIARIO O AVANZADO						
ARRASTRE CON AIRE						
FILTRACION	***					
DESTILACION						
DESGASIFICACION						
EVAPORACION						
CONGELACION						
FLOTACION		***	***			***
SORCION						
ADSORCION	***					
SEPARACION FASE GASEOSA						
FRACCIONAMIENTO ESPUMAS						
APLICACION AL TERRENO						
PRECIPITACION QUIMICA		***				
OSMOSIS INVERSA					***	
INTERCAMBIO IONICO						
ELECTROQUIMICO						
DIALISIS			***			***
ELECTRODIALISIS				***		
REDOX						
ASIMILACION BACTERIANA						
CULTIVO DE ALGAS						
NITRIFICACION - DENITRIFICACION						

COMENTARIO DE LA PERTINENCIA DE LAS NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS DEL AGUA EN MEXICO.

Se entiende por Norma Técnica Ecológica, el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente y, además que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.

Las NTE determinan los parámetros dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

En un principio y con el propósito de ayudar a los gobiernos y, en especial, a los países en vías de desarrollo, la E.P.A (siglas en inglés de Agencia de Protección Ambiental) de Estados Unidos de Norteamérica, creó las NTE del agua, en las cuales establece los Límites Máximos Permisibles a los que deberían sujetarse las diferentes actividades industriales para preservar el equilibrio ecológico en cuerpos acuáticos receptores.

Pero a partir de 18 de Octubre de 1993 el Gobierno Mexicano a través de la Dirección General de Normas las modificó a Normas Oficiales Mexicanas (NOM-CCA-001-ECOL/1993 a NOM-CCA-033-ECOL/1993), teniendo como característica principal establecer una reglamentación más estricta en cuanto al Límite Máximo Permissible, para cada uno de los giros industriales tomando en consideración el tipo de contaminante que descargan en sus aguas residuales.

En la elaboración de las NOM participaron las siguientes empresas paraestatales: Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Secretaría de Marina, a través de la Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Energía, Minas e Industria, a través de la Subsecretaría de Minas e Industria Básica, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), a través de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Secretaría de Salud (S.S), a través de la Dirección General de Salud Ambiental, Departamento del Distrito Federal (D.D.F), a través de la Dirección de Ecología, Gobierno del Estado de México, a través de la Secretaría de Ecología, Petróleos Mexicanos (PEMEX), a través de la Gerencia de Protección Ambiental, Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX), Confederación Nacional de Cámaras Industriales (CONCAMIN), Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA).

CONCLUSIONES

Para el primer objetivo, que consistió en la recopilación de las Normas Técnicas Ecológicas del Agua, debido a que se derogaron por las Normas Oficiales Mexicanas el anexarlas implica mucho espacio para la impresión de este trabajo.

Podemos considerar que para el objetivo en el cual se comparan los resultados obtenidos con la Norma Técnica Ecológica muestran que ninguna de las seis empresas evaluadas se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible en Aluminio. Además las empresas Elaboración de bolsas de papel, Fotograbado en lámina y Elaboración de sartenes para cocina presentan altas concentraciones en Cromo total, Plomo y Cromo total, respectivamente.

De acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, las seis empresas no cumplen con los diferentes criterios de calidad en grasas y aceites.

En relación al Índice de Calidad del Agua (ICA), podemos observar que el método de análisis no se pudo aplicar para la evaluación de estas empresas, ya que el ICA aplica 18 parámetros, 5 de los cuales se consideran en la NTE-CCA-031/91 y no considera metales pesados, obteniendo resultados poco confiables.

Respecto al Índice de Calidad de Aguas Residuales (ICAR), se encontró que dicho método no considera el número de contaminantes sino más bien la alta concentración de éstos para obtener una influencia industrial muy alta.

Para el Análisis de Correlación, se encontró que a elevadas concentraciones de contaminantes en el agua, la relación entre las variables X,Y tenderá a ser nula, ésto es, aguas excesivamente contaminadas.

Con respecto a las Normas Técnicas Ecológicas, los criterios establecidos para evaluar a las empresas no son específicos a cada tipo de descarga, ya que sus límites se aplican a todos los giros cuyas descargas sean al alcantarillado, sin importar el tipo de procesos que presentan.

De acuerdo al trend de tratamiento propuesto, éste requiere una revisión más exhaustiva, ya que no se realizó un análisis representativo.

En general, los objetivos planteados para el presente proyecto se cumplieron en su totalidad, siendo éste trabajo favorable para nuestro estudio.

RECOMENDACIONES:

Lo que se recomienda para mejorar el trabajo, es lo siguiente:

Período completo de muestreo de acuerdo a su proceso, y que no considere agua de servicios, medir el flujo volumétrico y con base en éste, proponer el sistema de tratamiento, Realizar el seguimiento de un año de las mismas empresas, monitoreando por lo menos una vez al mes las descargas, para determinar como varía la concentración de los contaminantes a lo largo del tiempo, con la finalidad de confirmar si los sistemas de tratamiento son los adecuados o ajustarse a otros métodos diferentes.

Realizar el estudio de estas mismas empresas considerando los 18 parámetros de prueba del Índice de Calidad del Agua, para determinar su grado de contaminación.

Considerar otros métodos de evaluación de aguas residuales.

Por otra parte damos otro tipo de sugerencias:

Tratar parcialmente a las aguas y darles un uso adecuado, en riego, servicios sanitarios, lavado, o bien, tratar las aguas de servicio e introducir las a su proceso de producción.

Con respecto a las Normas Técnicas Ecológicas (NTE), se sugiere crear criterios de calidad para los diferentes giros industriales cuyas descargas sean a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, ya que cada una presenta un proceso diferente y en consecuencia el número de parámetros y sus concentraciones son variables.

COMENTARIOS FINALES:

Consideramos necesario que el Biólogo se adentre en este tipo de estudios, ya que es importante conocer la fuente generadora de contaminación, puesto que es un factor importante sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos, que inciden de manera indirecta en la salud del hombre, de tal manera que ésto permita reducir la contaminación generada por las áreas urbanas y preservar los recursos naturales.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1) Murray, V. F; 1992; **La Contaminación en México**; 3ª ed; Fondo de Cultura Económica; México, D. F; 406.
- 2) Dirección de Ingeniería Sanitaria, S. S. A; 1993; **Manual de Saneamiento. Vivienda, agua y desechos**; Limusa, S. A; México, D. F.
- 3) Lara, G. M. A; 1982; **Los Recursos Hidráulicos**; Fondo de Cultura Económica; México, D. F; 414.
- 4) Martínez, J. A; 1982; **El Medio Acústico y su Contaminación**; Fondo de Cultura Económica; México, D. F; 414.
- 5) SEDUE; 1984; **Calidad del Agua**; México, D.F; 49.
- 6) SEDUE; 1986; **Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación de Aire, Agua y Suelo**; Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; México, D.F; 136.
- 7) Cremoux, R; 1992; **Acciones para Mejorar el Medio Ambiente en la Ciudad de México**; Fundación El Manantial, Ac. I.A.P; México, D.F; 140.
- 8) SEDUE; 1988; **Control de la Contaminación del Agua**; México, D.F; 190.
- 9) Gidi, A. D; 1989; **Aguas Residuales Industriales**; In: Memoria de la Reunión Sobre Salud y Ambiente en la Ciudad de México; Secretaría de Defensa Nacional - Departamento del Distrito Federal; Abril 1989; 384.
- 10) Gidi, A.D; ICYT; Vol. 13; 27 - 30; Febrero 1991.
- 11) Martínez. P. P; 1989; **Alternativas de Control, Aprovechamiento o Reuso de las Aguas Residuales**; In: Memoria de la Reunión Sobre Salud y Ambiente en la Ciudad de México; Secretaría de Defensa Nacional - Departamento del Distrito Federal; Abril 1989; 384.
- 12) López Portillo y Ramos; 1982; **El Medio Ambiente en México. Temas, Problemas y Alternativas**; Fondo de Cultura Económica; México, D.F; 355.
- 13) Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación; 1979; **Contaminación del Agua**; México, D. F; SARH; 223;
- 14) SEDUE; 1986; **Informe sobre el Medio Ambiente en México**; México, D. F; Marzo 1986; 83.

- 15) Comisión Nacional de Ecología; 1989 - 90; **Informe sobre la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**; SEDUE; México, D.F.
- 16) Gaceta Ecológica; Junio 1993; Volumen V, número 23; **Ley Federal sobre Metrología y Normalización**; SEDESOL.
- 17) Flores, H. F; 1989; **Problemática de la Contaminación del Agua**; In: Memoria de la Reunión Sobre Salud y Ambiente en la Ciudad de México; Secretaría de Defensa Nacional - Departamento del Distrito Federal; Abril 1989; 384.
- 18) Diario Oficial de la Federación: 2ª Sección; Viernes 20 Septiembre 1991; **Acuerdo por el que se expide la Norma Técnica Ecológica NTE - CCA- 031/91; 74 - 78.**
- 19) SEDUE; 1985: **Manual de Técnicas Analíticas para Aguas Residuales**; Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Subdirección de Laboratorios; México, D.F; 301.
- 20) SEDUE; 1988: **Manual de Técnicas de Muestreo para Agua y Aguas Residuales**; Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Programa Nacional de Capacitación Ambiental; México, D.F; 289.
- 21) Thomas, W. A; 1972; **Indicators of Environmental Quality**; Vol.1; Plenum Press Corporation; New York, U. S. A; 173 - 182.
- 22) Calderón, B. J. L; 1980; **Índice de Calidad del Agua**; In: Memoria del Segundo Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en Monterrey, Nuevo León; Diciembre 4 - 6; 923.
- 23) Quadri de la, T. G; 1989; **Aguas Residuales de la S.M.C.M., Impactos y Perspectivas**; Fundación Friedrich Ebert, Departamento del Distrito Federal; México, D.F; 137.

BIBLIOGRAFIA DE ANEXOS

- 01) **Constitución Política de los Estados Unidos de México; 1993; 100ª edición; Porrúa; México, D.F; 134.**
- 02) **SEDUE; s/a; Breviario Jurídico Ecológico. México, D.F; 237.**
- 03) **SEDUE;1988; Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente; México, D.F; 123.**
- 04) **Gaceta Ecológica; Enero 1990; SEDUE; Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89.**
- 05) **Diario Oficial de la Federación; 3ª Sección; Lunes 28 Junio 1993; SEDESOL; Proyecto de Norma Oficial Mexicana en Materia de Protección Ambiental; 128.**
- 06) **Diario Oficial de la Federación; 2ª Sección; Lunes 18 Octubre 1993; SEDESOL; Norma Oficial Mexicana en Materia de Protección Ambiental; 128.**
- 07) **Leyes y Códigos de México; 1993; Ley de Aguas Nacionales; Porrúa, S. A; México, D.F.; 192.**
- 08) **Metcalf y Eddy; 1981; Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales; 2ª; Labor, S.A; México, D.F; 837.**
- 09) **Kemmer; 1992; Manual del Agua, Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones; 3 Tomos; M^c Graw Hill; Interamericana de México, S.A; México, D.F; 43-20.**
- 10) **Nemerow, N.L; 1977; Aguas Residuales Industriales; H. Blume ediciones; Madrid, España; 572.**
- 11) **Fair, et al; 1992; Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales; 2 Tomos; Limusa, S.A; México, D.F; 764.**

- 12) Hardenbergh y Rodie; 1984; **Ingeniería Sanitaria**; C.E.C.S.A.; México, D.F; 584.
- 13) Falcón, C; 1990; **Manual de Tratamiento de Aguas Negras**; Limusa, S. A; México, D.F; 304.
- 14) Lora, F; 1975; **Control de Calidad y Tratamiento del Agua**; Instituto de Estudios de Administración Local; Madrid, España; 578.
- 15) Muñoz, H. A; 1992; **Depuración de Aguas Residuales**; Colección Seignor; Madrid, España; 927.
- 16) Ramalho, R. S; 1991; **Tratamiento de Aguas Residuales**; Reverté, S. A; Madrid, España; 705.
- 17) Szulz y Okum; 1990; **Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo**; Limusa, S. A; México, D.F; 391.
- 18) S.A.R.H; 1980; **Manual de Técnicas de Tratamiento para Aguas Residuales**; México, D.F; 160.
- 19) Valdivia, A; 1989; **Procesos Físicos Unitarios en el Tratamiento de Aguas Residuales**; U.A.M Azcapotzalco; México, D.F; 136.
- 20) **Plan Regidor para Aguas Residuales**; 1982; Anexo B, Plantas de Tratamiento; Presidencia de la República Mexicana; Coordinación de Proyectos de Desarrollo; México, D.F; 879.
- 21) Horan, N. J; 1990; **Biological Wastewater Treatment Systems**; John Wiley & Sons; Washington, U.S.A; 413.
- 22) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; **NOM - AA - 89/1 - 1986; Protección al Ambiente - Calidad del Agua - Vocabulario - Parte 1.**
- 23) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; **NOM - AA - 89/2 - 1992; Protección al Ambiente - Calidad del Agua - Vocabulario - Parte 2.**

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 01) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 3 - 1980; Muestreo de Aguas Residuales.
- 02) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 4 - 1980; Determinación de Sólidos Suspendedos en Agua; Método Volumétrico.
- 03) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 5 - 1980; Determinación de Grasas y Aceites en Agua; Método Extracción Soxhlet.
- 04) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 7 - 1980; Determinación de Temperatura en Agua; Método Termométrico.
- 05) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 8 - 1980; Determinación de Potencial de hidrógeno en Agua; Método Potenciométrico.
- 06) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 39 - 1980; Determinación de Substancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes) en Agua; Método Colorimétrico del Azul de Metileno.
- 07) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 44 - 1981; Determinación de Cromo hexavalente en Agua; Método Colorimétrico de la Difetil carbasida.
- 08) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA 50 - 1978; Determinación de Fencoles en Agua; Método Bipirina de la 4 - Aminoantipirina.
- 09) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 51 - 1981; Determinación de Metales en Agua; Método Espectrofotométrico de absorción atómica.

- 10) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 57 - 1981; Determinación de Plomo en Agua; Método Colorimétrico de la Ditizona.
- 11) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 60 - 1981; Determinación de Cadmio en Agua; Método Colorimétrico de la Ditizona.
- 12) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 66 - 1981; Determinación de Cobre en Agua; Método Colorimétrico de la Neocuproína.
- 13) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 78 - 1982; Determinación de Zinc en Agua; Método Colorimétrico de la Ditizona I, Ditizona II y Espectrofotometría de absorción atómica.
- 14) Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas; NOM - AA - 93 - 1984; Determinación de Conductividad eléctrica en agua; Método Conductímetro.
- 15) Francon, H.M; 1992; Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales; APHA - AWWA - WPCF; Diaz Santos, S.A; Madrid, España; 926.
- 16) Caballero, P.J; 1963; Métodos Estandar para el Exámen de Aguas de Desecho, Incluyendo Sedimentos Bentales y Lodos; 11ª; Interamericana, S.A; México, D.F; 509.
- 17) Cantú, M. M. J; Probabilidad y Estadística; Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza; U. N. A. M.; 649.

ANEXO A
LEGISLACION AMBIENTAL EN
MEXICO

LEGISLACION AMBIENTAL EN MEXICO.

México, al igual que todos los países modernos, se transforma y renueva a través del tiempo y de un rápido crecimiento poblacional. Actualmente supera los 70 millones de habitantes asentados a lo largo y ancho del territorio nacional en forma un tanto desordenada. La mayor concentración de población se localiza en la capital del país y áreas aledañas, así como en varias ciudades donde se localizan los grandes desarrollos industriales, comerciales y turísticos que constituyen polos de atracción demográfica permanente.

Como consecuencia de lo anterior, se han generado graves problemas de contaminación, puesto que, estas zonasaltamente pobladas provocan demanda de agua, alcantarillado, alimentos, etc., lo cual, ha originado contaminación en ríos, lagos, mares y costas. Es por ello, que se ha requerido la creación de normas legales para rehabilitar y reducir el deterioro ambiental.

El gobierno de la República, con apoyo en las atribuciones legales que le otorga la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, párrafo tercero del Artículo 27 constitucional en relación con el 73, fracción XVI de este ordenamiento, actúa y protege el medio ambiente, que requiere atención permanente, conocimientos y acciones constantes de la población.

El constituyente del 17, incorporó en nuestra carta Magna, el párrafo tercero del Artículo 27, cuyo texto establece " el derecho de la nación para regular en beneficio social el aprovechamiento de los elementos naturales, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana ".

Esta disposición se complementa con las atribuciones que se consignan en el Artículo 73 fracción XVI, en favor del Congreso de la Unión, para legislar en materia de salubridad en general, así como para prevenir y combatir la contaminación ambiental que ha alcanzado situaciones críticas en algunas zonas del país, tales como la Zona Metropolitana del Valle de México, la Zona Urbana de Guadalajara y Monterrey, Coatzacoalcos - Minatitlán, la Zona del Bajío, en diversas áreas de la frontera con los Estados Unidos de Norteamérica, los puertos como Acapulco, Lázaro Cárdenas, Salina Cruz, Tampico y algunos otros lugares que por su crecimiento y actividades industriales, comerciales y de servicio, padecen deterioros ecológicos que degradan los ecosistemas con repercusiones directas en la salud humana. (L. Portillo y Ramos; 1982).

A continuación se dará un breve resumen retrospectivo de las principales acciones por parte del gobierno mexicano en materia de legislación ambiental, especialmente, la relacionada con agua.

ANEXO A

1) Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.

El Gobierno Federal, promueve ante el Congreso de la Unión la expedición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cual fue promulgada por el Presidente de la República Mexicana el 12 de Mayo de 1971, y fue publicada en el Diario Oficial de la Federación del día 23 del mismo mes.

La Ley no sólo regula la prevención y control de la contaminación, sino también el reglamento, conservación y restauración del medio ambiente.

El objeto de la Ley es prevenir, regular, controlar y prohibir los contaminantes y sus causas, cualquiera que sea su procedencia u origen, que en forma directa o indirecta sean capaces de producir contaminación o deterioro de sistemas ecológicos, esto es, que puedan alterar o modificar las características naturales del aire, agua, suelo o las del ambiente, perjudicando o afectando la vida, salud y bienestar del hombre, la flora y fauna o bien que degraden la calidad de los elementos vitales, de los bienes o de los recursos.

Esta Ley en materia de aguas, prohíbe arrojar a los depósitos o infiltrar en terrenos aguas residuales, señalando que se dictarán las medidas para el uso o aprovechamiento de éstas y se fijarán las condiciones que deban cumplir para ser arrojadas en las redes colectoras. Señala infracciones que dan motivo a sanciones, y finalmente, señala la facultad que tiene toda persona para denunciar ante la autoridad competente cualquier hecho que, en los términos legales, origine contaminación, esto es, la Ley concede acción popular. (Murray; 1992).

2) Ley Federal de Aguas.

Esta Ley apareció el 11 de Enero de 1972, aunque hoy se encuentra derogada por la Ley Nacional de Aguas, pretende realizar una distribución equitativa de los recursos hidráulicos y cuidar de su conservación.

La presente Ley, reglamenta las disposiciones en materia de aguas, de los párrafos quinto y sexto del Artículo 27 constitucional, y tiene por objeto regular la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas propiedad de la nación, incluidas aquellas del subsuelo libremente alumbradas mediante obras artificiales, para que se reglamente su extracción, utilización y veda, conforme lo exige el interés público. (Breviario Jurídico Ecológico; s/a).

ANEXO A

3) Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente.

Por acuerdo del C. Presidente de la República Mexicana, Lic. Luis Echeverría Álvarez, de fecha 14 de Enero de 1972, se creó en la Secretaría de Salud y Asistencia (S.S.A), la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. Sus funciones consisten en señalar la política de mejoramiento del ambiente congruente con el desarrollo económico y social, para lo cual se otorgan facultades para planear y ejecutar las acciones necesarias para prevenir, controlar y abatir la contaminación ambiental y, sobre todo, para establecer los programas de prevención del deterioro del medio ambiente en general, asimismo, entre sus facultades está la de coordinar sus actividades con otros organismos públicos y privados para lograr sus fines, vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes contra la contaminación ambiental, y elaborar las normas generales para hacer aplicativos la Ley y sus reglamentos. (Murray;1992).

El 5 de Febrero de 1981 surge un acuerdo por el que se faculta a la Subsecretaría para crear y otorgar el Certificado de Calidad del Agua para el consumo humano, dicho certificado deberá marcar los márgenes sanitarios permisibles, así como la fecha de caducidad, a fin de que su revalidación permita comprobar la subsistencia de las condiciones que motivaron su otorgamiento. (SEDUE; 1986).

4) Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

Apareció en el Diario Oficial de la Federación el 29 de Marzo de 1973. Este reglamento fija la obligación que tienen los responsables de las descargas de aguas residuales, de registrarlas, de dar cumplimiento al plan de acción para su tratamiento y, dado el caso, a las condiciones particulares de descargas, señalados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en función de las características de los cuerpos receptores. Vencido el plazo para satisfacer esa obligación, se lleva a cabo actualmente el registro de remisos y de nuevas descargas. se han dado a los responsables de las mismas, alternativas para cumplir con las normas de calidad del Reglamento que señala los máximos tolerables de grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, temperatura y pH.

Además, el Reglamento establece la clasificación por parte de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, hoy Secretaría de Salud, y la Secretaría de Recursos Hidráulicos, hoy Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de las aguas receptoras de acuerdo con sus usos, las condiciones particulares y mantener una calidad del agua apropiada, se pueden modificar estas condiciones particulares, después de transcurrido un lapso de 5 años, a menos que se ponga en peligro la salud pública, en cuyo caso podrán modificarse en cualquier momento.

ANEXO A

Las acciones a largo plazo persiguen plantear y desarrollar los mecanismos apropiados para satisfacer los niveles de calidad del medio acuático y obtener el aprovechamiento integral del recurso. Las industrias existentes encaran problemas serios al tener que instalar equipos para el tratamiento de aguas residuales o modificar sus procesos de producción para cumplir con el Reglamento.

El Reglamento está elaborado de manera que permita distribuirlos en lapsos considerables: la primera etapa, requiere establecer tratamiento primario en 3 años, a partir de la fecha de registro de la descarga. Posteriormente, seguirán requerimientos más rígidos una vez que se definen los usos del cuerpo de agua receptor.

Con fecha 31 de Enero de 1975, la SRH dictó un acuerdo por el que delega en favor del Subsecretario de Planeación, las facultades para resolver los procedimientos relativos a infracciones por violaciones al Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, inclusive el recurso de inconformidad establecido en el Artículo 61 de ese ordenamiento, en relación con el artículo 32 de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (Murray; 1992).

5) Ley Federal de Protección al Ambiente.

Esta Ley apareció en el Diario Oficial de la Federación el 11 de Enero de 1982, destaca el propósito de educar y difundir los principios y objetivos de la legislación para que la población la conozca y colabore directa y efectivamente en proteger su propia salud y persona, dentro de la esfera en que vive y desarrolla sus labores bajo la orientación y coordinación de las autoridades federales, locales y municipales. Dentro de las disposiciones generales figura una terminología más amplia y actualizada, se precisa la competencia de la Secretaría de Salubridad y Asistencia y la coordinación de otras dependencias federales con la propia Secretaría.

El propio ordenamiento incluye preceptos sobre la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, el control de descargas de aguas residuales, la protección del medio marino, la exploración y explotación de energéticos, las aguas interiores o marinas y el vertimiento en el mar de hidrocarburos y otras sustancias nocivas.

En el Capítulo tercero, de la Protección de Aguas, artículo 21, menciona que se prohíbe descargar, sin previo tratamiento, en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, o infiltrar en terrenos aguas residuales que contengan contaminantes, desechos, materiales radioactivos o cualquier otra sustancia dañina a la salud de las personas, flora, fauna o bienes.

ANEXO A

En su artículo 22, establece que las aguas residuales de usos públicos, domésticos, industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes deben reunir las condiciones necesarias para no contaminar cuerpos receptores, interferencias en los procesos de depuración de las aguas, y trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos de los sistemas hidráulicos y alcantarillado.

Establece sanciones de carácter administrativo tales como multas, clausuras o arresto hasta por 36 horas. Esta Ley es de aplicación Federal, pero prevee acciones compartidas con las autoridades locales y la participación ciudadana.
(L. Portillo y Ramos; 1982).

6) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 28 de Enero de 1988. es reglamentaria de las disposiciones de la constitución que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Sus disposiciones son de orden público e interés social, y uno de sus objetivos es la preservación, restauración y el mejoramiento del ambiente, así como la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo.

En el Capítulo III hace mención de las atribuciones de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, hoy Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y del Departamento del Distrito Federal (D.D.F) y la Comisión Nacional de Ecología (C.N.E).

El el Capítulo II acerca de Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos, hace mención en sus artículos 121, 122 y 123 que no podrán descargarse aguas residuales en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, sistemas de drenaje o alcantarillado sin previo tratamiento sin el permiso o autorización de la autoridad competente, y dichas descargas, deberán satisfacer las Normas Técnicas Ecológicas (NTE).

Parte importante de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente es el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, ya que a través de éste se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua y los parámetros correspondientes (Ver Cuadro CE-CCA-001/89), así como las sanciones necesarias para hacerlas cumplir.

ANEXO A

Normas Técnicas Ecológicas.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, incluye entre los instrumentos de política ecológica las Normas Técnicas Ecológicas y las define como el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente y, además que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.

Dichas normas son expedidas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, actualmente, Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y hacen mención de las actividades o uso y destino de bienes que se pretendan normar, aunque hoy en día (1994) se transformaron en Normas Oficiales Mexicanas, conservan la parte esencial para la cual fue creada. (SEDUE; 1988)..

7) Ley de Aguas Nacionales.

La presente Ley fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 1º de Diciembre de 1992, es reglamentaria del Artículo 27 constitucional en materia de Aguas Nacionales, es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Esta Ley es aplicable a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo.

Además hace mención de las atribuciones de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H), así como de la Comisión Nacional del Agua (C.N.A).

Son atribuciones de la S.A.R.H:

1. Proponer al Ejecutivo Federal la política hidráulica del país.
2. Fungir como presidente del Consejo Técnico de la Comisión, y,
3. Los que en materia hidráulica le asignen específicamente las disposiciones legales.

ANEXO A

Son atribuciones de la C.N.A:

1. Ejercer sus atribuciones en materia hidráulica, es decir, formular el programa nacional hidráulico, actualizado y vigilar su cumplimiento, así como proponer criterios y lineamientos que permitan dar unidad y congruencia a las acciones del gobierno federal.
2. Fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado, saneamiento, tratamiento y reuso de aguas, las de riego y drenaje y los de control de avenidas y protección contra inundaciones.
3. Administrar y custodiar aguas nacionales y los bienes nacionales referidos en el Artículo 113.
4. Programar, estudiar, construir, operar, conservar y mantener las obras hidráulicas federales.
5. Expedir títulos de concepción, asignación o permiso.
6. Promover el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico.
7. Expedir las normas en materia hidráulica en los términos de la Ley Federal sobre metrología y normalización.

La Ley de Aguas Nacionales hace referencia en su Artículo 44, título sexto, al uso del agua a nivel público urbano, en dicho Artículo se menciona que la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo por parte de los sistemas estatales o municipales de agua potable y alcantarillado, se efectuarán mediante asignación que otorgue la Comisión, como la forma de garantizar el pago de las contribuciones, productos y aprovechamiento que se establecen en la legislación fiscal, y la forma prevista para generar los recursos necesarios para el cumplimiento de estas obligaciones. (Leyes y Códigos de México; 1993).

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
CE-CCA-001/89
HOJA 1/6

PARAMETROS ORGANICOS	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
Acenafteno	2E-2				2E-2	1E-2
Ac. 2,4 Diclorofenoxiacético	0.1					
Acrilonitrilo	6E-4				7E-2	
Acroleína	0.3		0.1		7E-4	5E-4
Aldrín	3E-5	5E-5	2E-2		3E-3	1E-3
Benceno	1E-2				5E-2	5E-3
Bencidina	1E-6				2E-2	
Bifenilos policlorados	8E-7				1E-5	3E-5
BHC (IV)					1E-3	3E-6
BHC (lindano)	3E-3				2E-3	2E-4
Bis(2-cloroetil)eter	3E-4				2.38	
Bis(2-cloroisopropil) eter	3E-2				2.38	
Bis(2-etilhexil)ftalato	32.0				9.4E-3	0.0294
4-Bromofenil-fenil-eter					1E-2	
Bromoformo	2E-3					
Bromuro de metilo	2E-3					
Carbono orgánico:						
a) Extractable en alcohol	1.5					
b) Extractable en cloroformo	3.0					
Clordano	3E-3	2E-5	3E-3		2E-3	9E-5
Clorobenceno	2E-2				2.5E-3	1.6E-3

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
HOJA 2/6

PARAMETROS ORGANICOS	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
2 Cloro etil vinileter					0.5	
2Clorofenol	3E-2				4E-2	0.1
Cloroformo	3E-2				0.3	
Cloronaftalenos					2E-2	7E-5
Cloruro de metileno	2E-3					
Cloruro de metilo	2E-3					
Cloruro de vinilo	2E-2					
Diclorofenil dicloroetano	2E-6				6E-6	4E-5
b1- di(clorofenil)/2,2 dicloro-etileno			4E-2		1E-2	1E-4
b1- di(clorofenil)/2.2. 2/tricloro-etano	1E-3	5E-6			1E-3	1E-4
Diclorobencenos	0.4				1E-2	2E-2
1,2Dicloroetano	5E-3				1.2	1.1
1,1Dicloro- etileno	3E-4				0.116	2.24
1,2Dicloro- etileno	3E-4				0.116	2.24
2,4Diclorofenol	3E-2				2E-2	
1,2Dicloro-propano					0.2	0.1
1,2Dicloro- propileno	9E-2				6E-2	8E-3
Dieldrin	7E-7	3E-6	2E-2		2E-3	7E-4
Dietilftalato	350.0				9.4E-3	0.02944

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
HOJA 3/6

PARAMETROS ORGANICOS	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
1,2 Difenil-hidracina	4E-4				3E-3	
2,4 Dimetilfenol	0.4				2E-2	
Dimetilftalato	313.0				9.4E-3	2.95-E2
2,4 Dinitrofenol	7E-2				2E-3	5E-2
Dinitro-O-cresol	1E-2					1E-2
2,4 Dinitrotolueno	1E-3				3.3E-3	5.9E-3
2,6 Dinitrotolueno					3.3E-3	5.9E-3
Endosulfano	7E-2				2E-4	3E-5
Endrin	1E-3	2E-6			2E-5	4E-5
Etilbenceno	1.4					0.5
Fenol	0.3	1E-3			0.1	6E-2
Fluoroanteno	4E-2				4E-2	4E-4
Gases disueltos					(XVIII)	(XVIII)
Halometanos	2E-3				0.1	
Heptacloro	1E-4	2E-6	2E-2		5E-4	5E-4
Hexacloro-benceno	1E-5				2.5E-3	1.6E-3
Hexacloro-butadieno	4E-3				9E-4	3E-4
Hexacloro-ciclopenta-dieno	1E-3				7E-5	7E-5
Hexacloroetano	2E-2				1E-2	9E-3

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
HOJA 4/6

PARAMETROS ORGANICOS	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
Hidrocarburos aromáticos polinucleares	3E-5					0.1
Isoforona	5.2				1.2	0.1
Metoxicloro	3E-2					
Naftaleno					2E-2	2E-2
Nitrobenzeno	20.0				0.3	7E-2
2 Nitrofenol y 4 Nitrofenol	7E-2				2E-3	5E-2
N-Nitrosodifenilamina	1E-5				5.85E-2	33.0
N-Nitrosodimetilamina	1E-5				5.85E-2	33.0
N-Nitrosodi-N-propilamina					5.85E-2	33.0
Paration	3E-5				4E-5	4E-5
Pentacloro-fenol	3E-2				5E-4	5E-4
SAAM	0.5				0.1	0.1
2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-Dioxina	1E-10				1E-8	1E-8
1,1,2,2 Tetracloroetano	2E-3				9E-2	9E-2
Tetracloroetileno	8E-3				5E-2	0.1
Tetracloruro de carbono	4E-3				0.3	0.5
Tolueno	14.3				0.2	6E-2
Toxafeno	7E-6	3E-5	5E-3		2E-7	2E-7
1,1,1 Tricloroetano	18.4				0.2	0.3
1,1,2 Tricloroetano	6E-3				0.2	
Tricloroetileno	3E-2				1E-2	2E-2
2,4,6 Triclorofenol	1E-2				1E-2	

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
HOJA 5/6

PARAMETROS FISICOS	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
Aspectos estéticos	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
Color (Pt-Co)	75.0				(VII)	(VII)
Cond. e. (μ mhos/cm)			1.0			
Grasas y Aceites	Ausente					
Materia Flotante	(11;2)	(11;2)	(11;2)	(11;2)	(11;2)	(11;2)
Olor	ausente					
pH (XII)	5-9		4.5-9		(XIII)	(XIII)
Sabor	Ctco.					
Sol. Disueltos	500.0		500.0 (XVI)	1,000		
Sol. Suspendidos	500.0		50.0		(VIII)	(VIII)
Sol. Totales						
T (°C)	C.N. + 2.5				C.N. + 1.5	C.N. + 1.5
Turbiedad (escala Si)	C.N.				C.N. + 1.5	C.N. + 1.5

¹ C.N.- Condiciones Naturales.

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA
HOJA 6/6

PARAMETRO RADIOLOGICO	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
Radioactividad:						
a) Alfa total (Bq/l)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
b) Beta total (Bq/l)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
PARAMETRO MICROBIOLOGICO	1	2	3	4	5	
					5.a	5.b
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	1000.0 (XIX)	200.0	1000.0		200.0	200.0

2

- 1) Fuente de Suministro de Agua Potable.
- 2) Recreativo con Contacto Primario.
- 3) Riego Agrícola.
- 4) Pecuario.
- 5) Protección de la Vida Acuática.
 - 5.a) Agua Dulce.
 - 5.b) Agua Marina (Zonas Costeras).

ANEXO B

**SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES**

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales se clasifica generalmente en cuatro etapas o pasos: Pretratamiento, Primario, Secundario y Terciario o Avanzado.

El pretratamiento, está diseñado para eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, sólidos inorgánicos pesados; así como cantidades excesivas de grasas y aceites, usualmente por medios mecánicos.

El tratamiento primario esta dirigido hacia la eliminación de la mayor parte de los sólidos en el agua, y a rebajar moderadamente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Con éste método se consigue eliminar la mayor parte de sólidos suspendidos (aproximadamente de 40 a 60%). Cuando se agregan ciertos productos químicos se elimina de un 80 a 90% los sólidos coloidales, sedimentables y suspendidos.

El propósito fundamental, consiste en disminuir suficientemente la velocidad del agua para que puedan asentarse los sólidos en tanques de sedimentación.

En el tratamiento secundario, se emplean procesos biológicos (los cuales se aproximan a los de la degradación natural), para rebajar aún más la DBO y eliminar los sólidos orgánicos en suspensión o en solución. Depende principalmente de los microorganismos para la descomposición de los sólidos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos u orgánicos estables.

El tratamiento terciario, está destinado a la eliminación de casi todos los contaminantes disueltos y suspendidos que quedan después del tratamiento secundario (sólidos en suspensión, compuestos orgánicos disueltos, nutrientes inorgánicos vegetales disueltos y minerales inorgánicos disueltos), por medio de la combinación de los procesos anteriores en la mayoría de los casos o totalmente diferentes.

En el siguiente cuadro, se muestran los dispositivos o aditamentos más utilizados (de acuerdo a la clasificación anterior) en el tratamiento de aguas residuales, y que serán descritos posteriormente.

CUADRO SINOPTICO DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES

PRETRATAMIENTO

	De limpieza manual	
REJAS		
	De limpieza automática	De cara anterior
		De cara posterior
	Disco	
TAMICES		
	Tambor	
	Molinos	
DESMENUZADORES		De rejas tipo tambor giratorio
	Triturador	Rejilla fija semicircular
		Reja semicircular fijo en posición vertical
	De flujo horizontal	
DESARENADORES		
	Aireados	
		Rectangulares
TANQUE SEPARADOR DE GRASAS		
		Circulares
COLECTOR DE GRASAS		
		Tanques de 4.5 m de profundidad
TANQUE DE PREAIREACION		
		Canales aireados

TRATAMIENTO PRIMARIO

TANQUE O FOSA SEPTICA

TANQUE DE DOBLE ACCION O IMHOFF

TANQUE DE IGUALACION

TANQUE DE MEZCLADO

TANQUE DE FLOTACION

TRATAMIENTO QUIMICO

Proceso Guggenheim

Proceso Laughlin

Eliminación de fósforo

Tratamiento completo

Cloro gaseoso

Cloracion

Hipoclorito de calcio

Hipoclorito de sodio

DESINFECCION

Ozono

TRATAMIENTO SECUNDARIO

	De gasto normal
FILTROS GOTEADORES O ROCIADORES	
	De gran gasto
	Aireación escalonada
	Aireación graduada
	Aireación modificada
FANGOS O LODOS ACTIVADOS	Aireación activada
	Estabilización por contacto
	Digestión aerobia
	Aireación por contacto
FILTROS DE ARENA INTERMITENTE:	
FOSAS DE ESTABILIZACION O DE OXIDACION	
LAGUNAS DE ESTABILIZACION O DE OXIDACION	

TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

FISICOS:

AIR STRIPPING

FILTRACION

		Simple
	Medio filtrante	Doble
		Múltiple
	Dirección del flujo	Ascendente Descendente Doble Circulación
Rápida		
	Sistema de control de velocidad	Tasa Constante Tasa Variable
	Fuerza impulsora	Gravedad Presión
	Convencional	
Lenta	Dinámica	
	Microfiltros	
	Ultrafiltración	

**TRATAMIENTO TERCARIO O AVANZADO
CONTINUACION**

DESTILACION

DESGASIFICACION

EVAPORACION

SEPARACION DE LA FASE GASEOSA

CONGELACION

FLOTACION

FRACCIONAMIENTO DE ESPUMAS

APLICACION AL TERRENO

OSMOSIS INVERSA O HIPERFILTRACION

SORCION

QUIMICOS:

ADSORCION

PRECIPITACION QUIMICA

INTERCAMBIO IONICO

ELECTROQUIMICO

DIALISIS

ELECTRODIALISIS

OXIDACION - REDUCCION

BIOLOGICOS:

ASIMILACION BACTERIANA

CULTIVO DE ALGAS

NITRIFICACION - DESNITRIFICACION

ANEXO B

A) PRETRATAMIENTO

El procedimiento, consiste en hacer pasar el agua del efluente a través de rejas, tamices o desmenuzadores para triturar los sólidos en porciones más pequeñas sin separarlos del agua, y para evitar daños a los sistemas de bombeo de los equipos posteriores por utilizar en el tratamiento.

1.0) REJAS

Están formadas por barras usualmente espaciadas desde 2.0 - 15.0 cm. Generalmente tienen claros de 2.5-5.0 cm. Aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de 45 a 60° con la vertical. Su limpieza es manual o automática.

Los sólidos separados se eliminan enterrándolos o incinerándolos, o se reducen de tamaño con trituradoras o desmenuzadoras y se reintegran a las aguas residuales. (Falcón; 1989).

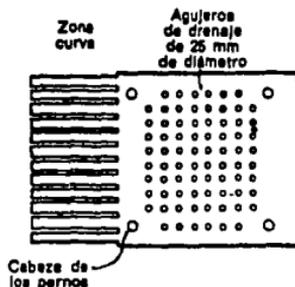
1.1) Rejas de limpieza manual

Se utilizan frecuentemente en pequeñas estaciones de bombeo de agua residual antes de las bombas. La longitud no debe exceder de lo que pueda rastrillarse fácilmente a mano. Los barrotes de la reja no serán menores de 1 cm de anchura por 5 cm de profundidad. Van soldadas a unas barras de separación situadas en la cara posterior, fuera del recorrido de las púas del rastrillo. Encima de la reja deberá colocarse una placa perforada para que los objetos rastrillados puedan almacenarse temporalmente para su desague. Figura 1.0

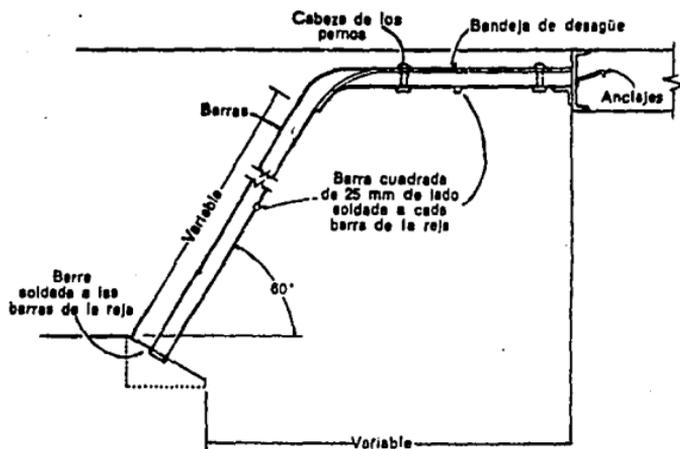
El canal donde se ubica la reja debe proyectarse de modo que se evite la acumulación de arena y otros materiales pesados en el mismo antes y después de la reja. La solera puede ser horizontal o bien tener pendiente hacia la reja; asimismo es conveniente achaflanar la unión con las paredes laterales. El canal deberá ser recto, perpendicular a la reja para procurar una distribución uniforme de los sólidos en la sección transversal al flujo y sobre la reja.

Con objeto de proporcionar suficiente superficie de reja para la acumulación de basuras entre las operaciones de limpieza, es esencial que la velocidad de aproximación se limite a unos 0.45 m/s a caudal medio. El área adicional necesaria para limitar la velocidad se puede obtener ensanchando el canal en la reja y colocando ésta con una inclinación más suave. Conforme se acumulan las basuras, obturando parcialmente la reja, aumenta la pérdida de carga, sumergiendo nuevas zonas a través de las cuales pasará el agua. El diseño estructural de la reja ha de ser adecuado para evitar su rotura en caso de que llegue a taponearse totalmente. (Metcalf & Eddy; 1981).

FIGURA 1.0



PLANO DE LA BANDEJA DE DESAGÜE



REJA DE LIMPIEZA MANUAL.

ANEXO B

1.2) Rejas de limpieza mecánica

Este tipo de rejas, pueden limpiarse, según su construcción, por la cara anterior o la posterior.

1.2.1) Rejas de limpieza por la cara anterior

En el modelo de limpieza frontal, el mecanismo se halla totalmente enfrente de la reja. Si se depositan algunos sólidos al pie de ésta, los rastrillos deben tirar de ellos hacia abajo al final de su desplazamiento antes de comenzar su movimiento ascendente. Figura 1.1.

1.2.2.) Rejas de limpieza por la cara posterior

La reja de limpieza por la cara posterior fue ideada para eliminar los atascamientos debidos a obstrucciones en el pie de la reja. Los rastrillos se desplazan hacia abajo por detrás de la misma, libres de obstrucciones. Si hubiese sólidos grandes en la base de la reja, los rastrillos penetran por debajo de ellos, tiran de los mismos hacia arriba elevándolos por encima de la reja o haciéndoles salir sin que se produzcan atascamientos. Figura 1.2.

2.0) CRIEAS O TAMICES

Son dispositivos de limpieza mecánica equipados con una placa perforada de bronce con aperturas ranuradas de 3 mm de anchura, o menos. En la actualidad, muy pocas plantas de tratamiento las utilizan.

Los tamices modernos son del tipo de disco o de tambor y van provistos de una tela de malla fina de acero inoxidable o de un material no ferroso. Las aberturas oscilan de 32 a 22 mm (malla de 6 a 60).

2.1) TIPO DISCO.

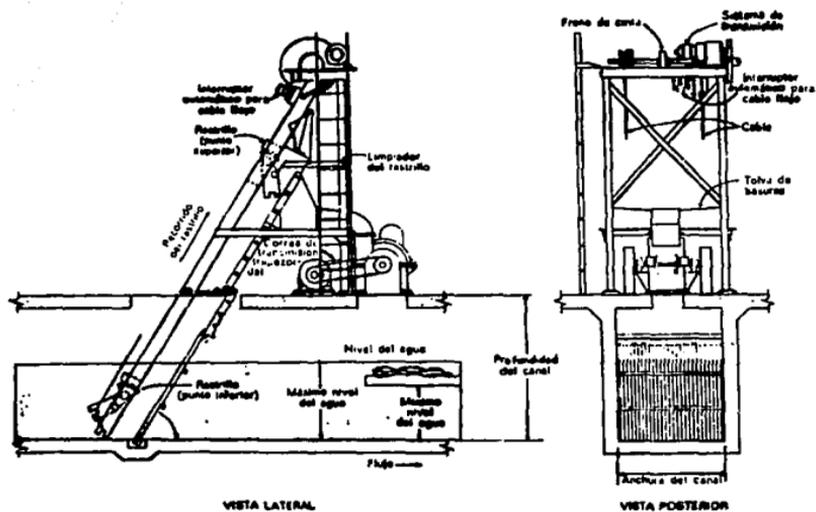
Tienen una superficie de tamizado circular vertical que gira sobre un eje horizontal situado ligeramente por encima de la superficie. Figura 1.3.

2.2) TIPO TAMBOR.

Giran a unas 4 rpm sobre un eje horizontal y funcionan de manera que se encuentran casi sumergidas .

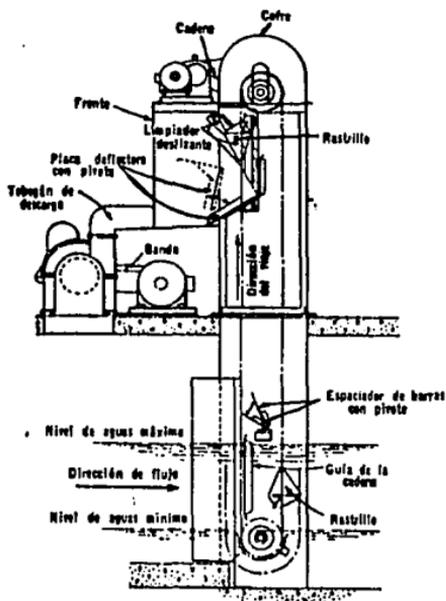
El agua residual entra por un extremo del tambor y sale a través de la tela del tamiz. Los tamices de tambor son de varios tamaños, desde 1.0 a 1.5 m de diametro y desde 1.2 a 3.6 m de longitud. Figura 1.4.

FIGURA 1.1



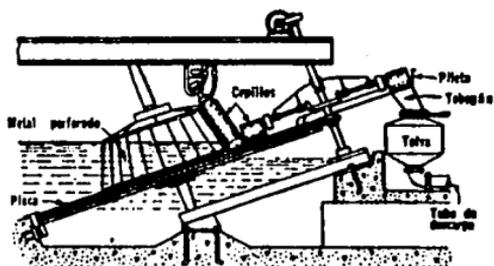
REJA DE LIMPIEZA MECANICA POR LA CARA ANTERIOR.

FIGURA 1.2



REJA DE LIMPIEZA MECANICA POR LA CARA POSTERIOR.

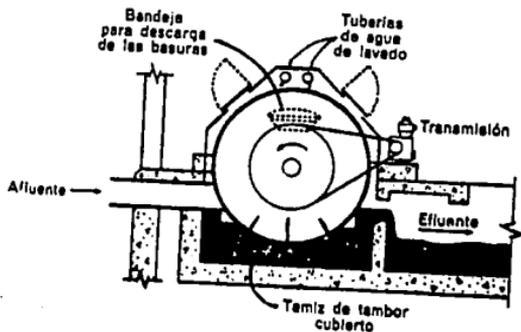
FIGURA 1.3



TAMIZ TIPO DISCO. .

Hardenberg & Rodie; 1987; 381.

FIGURA 1.4



TAMIZ TIPO TAMBOR.

ANEXO B

Los tamices del tipo de tambor se han utilizado mucho en plantas industriales para el tamizado de aguas residuales de fábrica de envasado, conservas, curtidos, textiles, papeleras, etc., antes de su evacuación.

Tanto en un tipo como en otro, los sólidos son elevados por encima del nivel del líquido mediante la rotación del tamiz y arrastrados mediante chorros de agua a gran presión a unas bandejas receptoras. (Metcalf y Eddy; 1981).

3.0) Desmenzadores o Trituradores

Son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permita que sean reintegrados a las aguas residuales sin peligro de obstruir las bombas o tuberías o afectar los sistemas de tratamientos posteriores. Puede disponerse aparte para triturar los sólidos que separan las cribas, o pueden ser combinaciones de cribas y cortadoras que se instalen dentro del canal.

Son de hojas dentadas o afiladas, fijas o móviles que actúan de continuo para reducir los sólidos a un tamaño tal, que puedan pasar a través de cribas o rejillas que tienen aberturas de unos 6.0 mm. Algunos están diseñados para operar como bombas de poca succión. (Falcón; 1989).

Ejemplos: molinos, cortadoras y trituradoras.

El dispositivo consta de una reja tipo tambor giratorio de eje vertical provisto de ranuras de 6 mm en las máquinas pequeñas, y de 10 mm en las grandes. El tambor, que funciona casi sumergido, está provisto de unos dientes cortantes de estelita y unas barras cizalla recubiertas asimismo de estelita.
Figura 1.5.

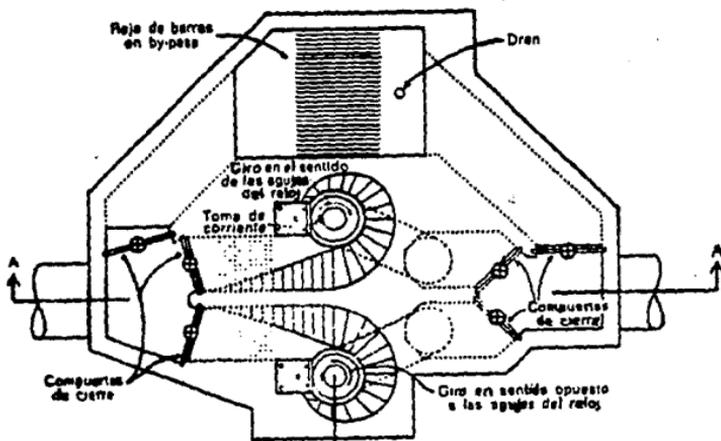
El material de tamaño superior a las ranuras del tambor es cortado por dichos dientes y barras de tambor giratorio cuando se le hace pasar por un peine fijo.

Las pequeñas partículas cizalladas atraviesan las ranuras del tambor y salen por una abertura en el fondo, mediante un sifón invertido hacia el canal aguas abajo.

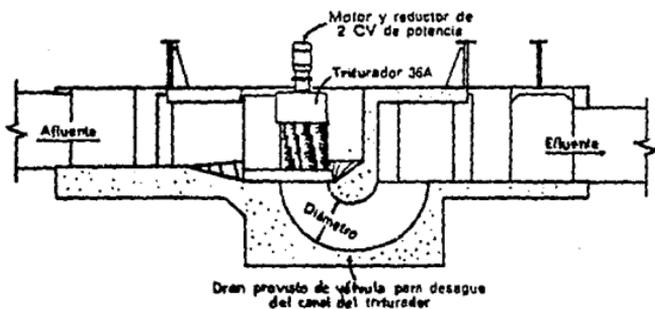
Otro tipo de dispositivo triturador consiste en una rejilla fija semicircular montada en un canal rectangular, provista de discos cortantes giratorios. La rejilla intercepta los sólidos más grandes mientras que los pequeños pasan por el espacio existente entre la parrilla y los discos cortantes. Los dientes van montados sobre la parte giratoria y el peine está situado sobre la rejilla fija.

Un tercer tipo consiste en una reja semicircular de acero inoxidable fija en posición vertical, que tiene ranuras

FIGURA 1.5



PLANTA



DESMENUZADOR.

ANEXO B

horizontales y que está situada en un canal rectangular cóncavo al flujo. Un brazo vertical accionado con motor, provisto de dientes cortantes, oscila de un lado a otro entre las ranuras arrastrando las basuras hacia las partes laterales donde son desmenuzadas entre los dientes cortantes oscilantes y unas barras fijas también cortantes.

Pueden ir precedidos de desarenadores. Suelen instalarse en el depósito de regulación de las estaciones de bombeo para proteger las bombas contra las obstrucciones causadas por trapos y objetos grandes, especialmente en ciudades pequeñas servidas por alcantarillado tipo unitario que aportan un mínimo de arena.

Es preciso proveer de by-pass a los trituradores para el caso de que se presenten caudales que excedan la capacidad de la instalación, y también en caso de fallo mecánico o corte eléctrico. (Metcalf y Eddy; 1981).

4.0) DESARENADORES

Estos se localizan antes de las bombas o de los desmenuzadores y si su limpieza se lleva a cabo mecánicamente, deben ser precedidas por cribas de barras y rastrillos gruesos.

Se diseñan en forma de grandes canales, en los cuales la velocidad del flujo disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados manteniéndose en suspensión el material orgánico.

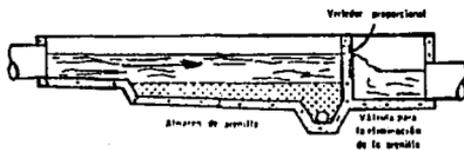
Deben diseñarse de manera que la velocidad se pueda controlar a 30 cm/s. El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse y generalmente varía de 20 a 60 seg. Esto último se logra instalando varios desarenadores para que el flujo se ajuste en ellos mediante vertederos proporcionales colocados al final de cada canal o mediante otros dispositivos que permiten regular la velocidad del flujo.

Una reciente innovación consiste en inyectar aire a una altura de 1.0 metro o más del fondo. La acción revolvedora del aire mantiene en suspensión a la materia orgánica más ligera y deja que las arenas queden relativamente libres y se depositen en la zona no agitada que queda bajo la difusión del aire.

Los desarenadores deben limpiarse cuando se llene de un 50 - 60% del espacio de almacenamiento, su limpieza es manual o mecánica. Figura 1.6 y 1.7. (Falcón; 1989).

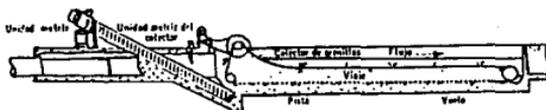
La misión de los desarenadores es separar arenas, término éste que engloba a las arenas propiamente dichas y a la grava, cenizas y cualquier otra materia pesada que tenga velocidad de sedimentación o peso específico superiores a los de los sólidos orgánicos putrescibles del agua residual.

FIGURA 1.6



DESARENADOR DE LIMPIEZA MANUAL.

FIGURA 1.7



DESARENADOR DE LIMPIEZA MECANICA.

ANEXO B

La arena incluye también cáscaras de huevo, pedazos de hueso, granos de café y grandes partículas orgánicas, tales como residuos de comidas.

La instalación de rejas de limpieza mecánica o de trituradores delante de los desarenadores facilita la operación de eliminación de arena y de las instalaciones de limpieza.
(Metcalf y Eddy; 1981).

Tipos de desarenadores

Existen dos tipos generales de desarenadores: de flujo horizontal y aireados. En el primero de ellos, el flujo atraviesa el desarenador en dirección horizontal, controlándose la velocidad rectilínea del flujo mediante las dimensiones de la instalación o el uso de secciones de control provistas de vertederos especiales situados en el extremo de aguas abajo del tanque.

El tipo aireado consiste en un tanque de aireación con flujo espiral, en el que la velocidad es controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad del aire suministrado al mismo.

4.1) Desarenadores de flujo horizontal

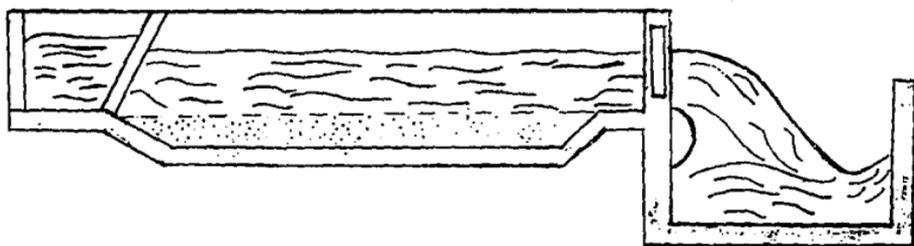
Se proyectaban para mantener una velocidad tan próxima como fuese posible a 0.3 m/s, ya que tal velocidad arrastra la mayoría de las partículas orgánicas a través del tanque y tiende a suspender de nuevo a las que se hayan depositado, pero permite que la arena, que es más pesada, se sedimente. Figura 1.8.

El diseño de los desarenadores de flujo horizontal deberá ser tal que, bajo las condiciones más adversas, la partícula más ligera de arena alcance el fondo del canal antes de su extremo de salida. Normalmente, los desarenadores se proyectan para eliminar todas las partículas de arena que queden retenidas en un tamiz de malla 65 (0.21 mm ϕ), aunque muchos desarenadores hayan sido diseñados para eliminar partículas de arena retenidas en un tamiz de malla 100 (0.15 mm ϕ).

Es de buena práctica utilizar una velocidad de sedimentación de 1.1 m/min. para la eliminación de material de malla 65 y de 0.75 m/min. para material de malla 100.

La longitud del canal estará regida por la profundidad que requiere la velocidad de sedimentación y la sección de control, y el área de la sección transversal lo será por el caudal y el número de canales. Deberá preverse cierta longitud adicional para tener en cuenta la turbulencia que se produce en la entrada y en la salida, recomendándose un mínimo de, aproximadamente, el doble de la profundidad máxima de flujo. A veces se usa una longitud adicional máxima del 50% de la longitud teórica.

FIGURA 1.8



DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL.

SARH: 1980: 45.

ANEXO B

Las acumulaciones de arena en los digestores son perjudiciales, ya que la planta tiene que detenerse mientras éstos se vacían y se quita la arena, lo cual es una operación difícil y desagradable.

Cuando el diagrama de la planta incluya digestores, deberá procurarse la incorporación de instalaciones teóricamente ideales para la eliminación de arena. Por otro lado, cuando el fango sin tratar sea vertido al mar o deshidratado en filtros de vacío e incinerado, incluso desarenadores de diseño bastante distante de ser el ideal han proporcionado un magnífico servicio.

Pueden también usarse tanques cuadrados; sin embargo, en este caso se aconseja el empleo de dos unidades. Figura 1.9.

Estos tanques están diseñados para una velocidad aproximada de 0.3 m/s a caudal máximo, estando el nivel del agua controlado por el gradiente hidráulico a través de la planta.

Esto da como resultado velocidades menores y más sólidos orgánicos en la arena sedimentada a caudales medio y mínimo.

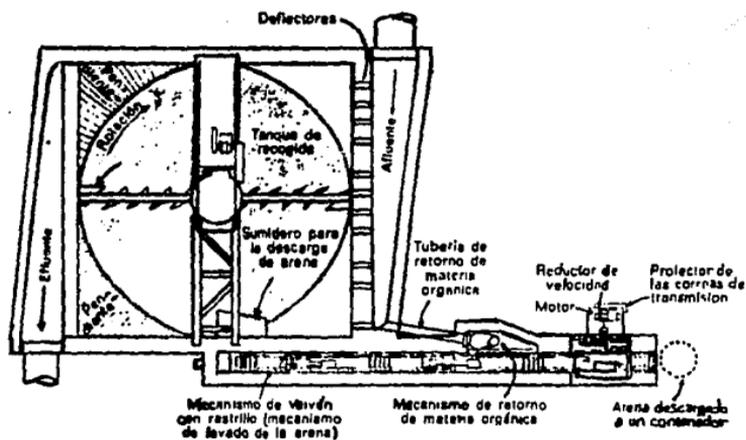
Los sólidos son rastrillados mediante un mecanismo giratorio hacia un sumidero situado en un lado del tanque, del que son desplazados hacia arriba por una rampa, mediante un mecanismo de vaivén provisto de un rastrillo. Al pasar por la rampa, los sólidos orgánicos se separan de la arena y fluyen de nuevo hacia el tanque. Con este método se consigue una arena más limpia y seca.

4.2) Desarenadores aireados

Por lo general, estos tanques se proyectan para proporcionar períodos de detención de unos 3 min. a caudal máximo. La sección transversal del tanque es semejante a la proporcionada para la circulación en espiral en los tanques de aireación de fangos activados, a excepción de un canal de unos 0.9 m de profundidad, con paredes laterales muy inclinadas que se encuentran a lo largo de un lado del depósito bajo los difusores de aire, los cuales están situados a unos 0.45 ó 0.60 m por encima del plano normal del fondo. Figura 1.10.

La velocidad de la rotación transversal o la agitación determinan el tamaño de las partículas de peso específico dado que serán eliminadas. Si la velocidad fuese demasiado grande, la arena será arrastrada fuera del tanque y, si fuese demasiado pequeña, habrá materia orgánica que se depositará junto con la arena. La cantidad de aire se puede ajustar fácilmente. Con el debido ajuste, se obtendrá una eliminación de casi el 100% y la arena quedará bien lavada. El agua residual se desplaza a través del tanque siguiendo una trayectoria helicoidal y pasa dos o tres veces por el fondo del tanque a caudal máximo, e incluso más veces con caudales menores. El agua residual deberá introducirse en dirección transversal al tanque.

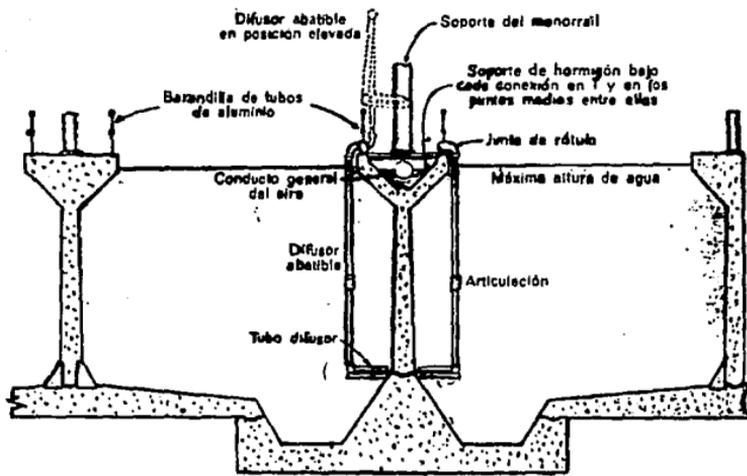
FIGURA 1.9



DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL CUADRADO.

Metcalf & Eddy; 1981; 463.

FIGURA 1.10



DESARENADOR AIREADO.

Metcalf & Eddy; 1981; 464.

ANEXO B

Un gran número de desarenadores aireados están dotados de medios para la eliminación de arena mediante cucharas de mordazas, que se desplazan sobre un monorraíl, centradas sobre el canal de almacenamiento y recogida de arena.

Otras instalaciones están equipadas con transportadores de cadena de cangilones, que se deslizan a lo largo de los canales de almacenamiento y empujan la arena hacia un extremo de éstos, desde donde la elevan por encima del nivel del agua en forma continua.

También se han utilizado transportadores de tornillo helicoidal, bombas de chorro y elevadores de aire.

También se usan transportadores tubulares para la separación de arena. Este tipo de transportador consiste en un tubo, de hasta 300 mm de diámetro, a través del que se desliza una cadena sin fin.

Entre cada dos eslabones de la cadena, hay un disco muy ajustado, de tamaño ligeramente menor que el del tubo. Una rueda dentada accionada por motor y situada en un extremo de la instalación, engrana la cadena y arrastra los discos a través del tubo.

La admisión de arena se realiza por la sección abierta situada por encima del nivel del líquido que permite su descarga. (Metcalf y Eddy; 1981).

5.0) Tanques separadores de grasas

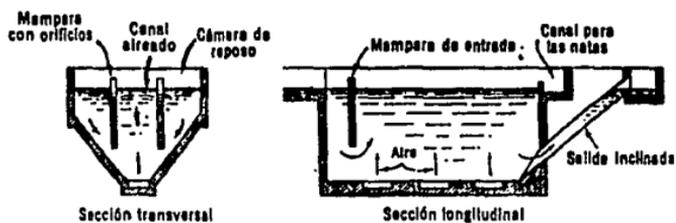
Un tanque separador de grasas consiste en un depósito dispuesto de tal manera que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recoja y elimine, mientras que el líquido sale del tanque en forma continua, a través de una abertura situada en el fondo, o por debajo de unos muros o deflectores de espumas bastante profundos.

Esta operación puede conseguirse en un tanque especial o combinarse con la sedimentación primaria, lo que dependerá del proceso y naturaleza del agua residual.

El material recogido en la superficie de los tanques separadores de grasas incluye aceite, grasa, jabón, pedazos de madera y corcho, residuos vegetales y pieles de fruta que se producen en las casas y en la industria.

La mayoría de los separadores de grasas son rectangulares o circulares y están provistos para un tiempo de detención de 1 a 15 min. La salida, que está sumergida, se halla situada en el lado opuesto a la entrada y a una cota inferior a ésta para facilitar la flotación y eliminar cualquier sólido que pueda sedimentarse. Figura 1.11. (Metcalf y Eddy; 1981).

FIGURA 1.11



TANQUE SEPARADOR DE GRASAS.

Fair, et al; 1985; 204.

ANEXO B

6.0) Colectores de grasas

Son pequeños tanques que se sitúan próximos a la fuente productora de las grasas, que puede ser una industria, un albañal de una casa o una pequeña planta de tratamiento.

Se emplean en muchas fábricas, garajes, hospitales y hoteles. La entrada está situada por debajo de la superficie y la salida se encuentra en el fondo.

Deben ser bastante grandes a fin de retener y, si fuese necesario, enfriar las descargas repentinas de residuos grasientos y aceitosos, debiendo limpiarse frecuente y regularmente. Se han venido utilizando tiempos de detención de 10 a 30 min. Figura 1.12, (Metcalf y Eddy; 1981).

7.0) Preaireación

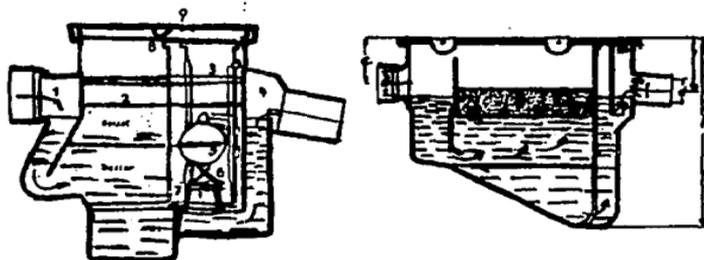
Los objetivos que se persiguen al airear el agua residual antes de la sedimentación primaria son: mejorar su tratabilidad, procurar la separación de las grasas, control de olores, eliminación de arenas y floculación; conseguir una distribución uniforme de los sólidos suspendidos y flotantes para su entrada en las unidades de tratamiento; y aumentar las eliminaciones de la DBO. (Metcalf y Eddy; 1981).

Se logra introduciendo aire en las aguas residuales durante 20 - 30 minutos a razón de 0.75 litros de aire por litro de aguas residuales, o por agitación mecánica. La agitación de las aguas residuales con presencia de aire, tiende a aglomerar o flocular los sólidos suspendidos más ligeros, formándose masas más pesadas que se asientan más rápidamente en los tanques de sedimentación. (Falcón; 1989).

Los tiempos de detención para la preaireación oscilan entre 10 y 45 minutos. La profundidad de los tanques suele ser de unos 4.5 m y las necesidades de aire de 0.6 a 2.4 m³/m³ de agua residual. El empleo de canales aireados para distribuir el agua residual a los tanques de sedimentación primaria de las grandes plantas tiene como misión mantener los sólidos en suspensión para toda la gama de caudales, de modo que la velocidad en el canal deja de ser crítica.

Asimismo, asegura una distribución uniforme de los sólidos en cada tanque y, junto con los desarenadores aireados y tanques de preaireación, añade oxígeno disuelto que mejora la condición del agua residual y reduce los olores. La cantidad de aire requerida oscila entre 8.0 y 0.46 m³/min. Los canales aireados son universalmente utilizados para distribuir el líquido mezcla a los tanques de sedimentación final del fango activado. (Metcalf y Eddy; 1981). Los dispositivos y el equipo que se usan son los mismos o similares a los que se usan en el proceso de lodos activados. Figura 1.13. (Falcón; 1989).

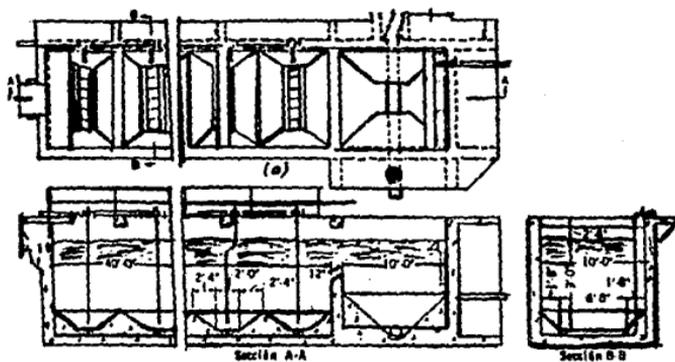
FIGURA 1.12



COLECTOR DE GRASAS.

MUÑOZ; 1992; 334.

FIGURA 1.13



TANQUE DE PREAIREACION.

Hardenberg & Rodie; 1987; 384.

ANEXO B

B) TRATAMIENTO PRIMARIO

Los dispositivos empleados están diseñados para retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación. Este se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo hasta 1.0 a 2.0 cm/s en un tanque de asentamiento, durante el tiempo suficiente, para dejar que se deposite la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente orgánicos.
(Falcón; 1989).

TANQUES DE SEDIMENTACION PRIMARIA

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el grado principal del tratamiento de agua residual o bien pueden utilizarse como un paso preliminar para el tratamiento posterior. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, estos tanques sirven para la eliminación de sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras y de gran parte de las materias flotantes. Si se emplea como paso previo a un tratamiento biológico, su función es reducir la carga en las unidades de tratamiento biológico. Los fangos de sedimentación primaria, que estén proyectados y operados eficazmente, deberán eliminar del 50 al 65% de los sólidos suspendidos y del 25 al 40% de la DBO. (Metcalf y Eddy; 1981).

Su función principal consiste en separar los sólidos sedimentables, mediante el proceso de sedimentación.

Los sólidos asentados se substraen continuamente a intervalos frecuentes para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases. Los sólidos pueden irse acumulando por gravedad en una tolva o embudo, o hacia un punto más bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan por la acción de la presión hidrostática.

Pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados, pero todos operan por el mismo principio de recolectar los sedimentos por medio de rastras de movimiento lento que los empuja hacia el sitio de descarga. (Falcón; 1989).

Normalmente, los tanques de sedimentación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de detención de 90 a 150 minutos, para el caudal medio del agua residual. Los tanques, que proporcionan menores detenciones (30 a 60 minutos) con menor eliminación de sólidos suspendidos son utilizados con frecuencia en el tratamiento preliminar antes de las unidades de tratamiento biológico. Casi todas las plantas de tratamiento de cualquier tamaño excepto aquellas que tienen tanques Imhoff utilizan en la actualidad tanques de sedimentación con dispositivos mecánicos de recogida de fangos y de diseño normalizado rectangulares o circulares.

ANEXO B

Deberá haber dos o más tanques con objeto de que el proceso permanezca en funcionamiento mientras uno de ellos esté fuera de servicio por reparación y/o mantenimiento. La longitud máxima de los tanques rectangulares es aproximadamente de 90 m. Cuando la anchura de los tanques rectangulares provistos de equipos mecánicos sea superior a 6 m, se pueden utilizar varios tramos provistos de equipos individuales de recogida de fangos permitiendo con ello anchuras de hasta 24 m o más. Los tanques circulares se construyen con diámetro de 5.6 a 60 m, aunque la gama más frecuente sea de 12 a 30 m.

Tanques rectangulares

Generalmente, se compone de un par de cadenas transportadoras sin fin. Sujeto a las cadenas y a intervalos de 3 m, aproximadamente, se colocan tablones de madera, o rascadoras, de 0.15 a 0.20 m de profundidad, que se extienden por toda la anchura del tanque o tramo. Son frecuentes las velocidades del 0.6 a 1.2 m/min. en los transportadores lineales, si bien se ha utilizado la velocidad de 0.3 m/min. en algunas plantas de fangos activados.

Los sólidos que se sedimentan en el tanque son arrastrados a unos cuencos para el fango en el caso de tanques pequeños, y a unos canales de fondo transversal, en los grandes. Estos, a su vez, están equipados con mecanismos colectores transversales, generalmente del mismo tipo que los longitudinales, que transportan los sólidos a uno o más cuencos de fango.

Pueden limpiarse mediante un mecanismo tipo puente que se desplaza por encima y debajo del depósito sobre rieles que se apoyan en las paredes laterales. Del puente se suspenden una o más cuchillas rascadoras que son levantadas para no arrastrar fango en el desplazamiento de vuelta. Se pueden ensamblar con los depósitos de preaireación y de aireación en las plantas de fangos activados. También suelen utilizarse cuando es necesario instalar techos o cubiertas para cubrir los tanques. Figura 2.0.

Los canales de entrada del afluente deben situarse transversalmente a los tanques en la zona de entrada, de forma similar a los canales de recogida del efluente en la zona de salida. Conviene también situar las instalaciones de bombeo de fango cerca de los cuencos de recogida ubicados en los extremos de los tanques. Una instalación de bombeo de fango puede servir fácilmente para dos depósitos.

Las espumas suelen recogerse en el extremo efluente de los tanques rectangulares por medio de los rascadores que hacen su camino de retorno por la superficie del líquido. La espuma es empujada por los rascadores hasta un punto en el que es atrapada por los deflectores antes de su eliminación. También puede ser arrastrada mediante rociado con agua a presión y recogerse arrastrándola manualmente por medio de una placa inclinada, o bien puede eliminarse hidráulica o mecánicamente.

ANEXO B

Otro método para extraer la espuma con medios mecánicos consiste en un limpiador helicoidal transversal, acoplado a un eje. La espuma se hace circular por medio de un chorro de agua a un eyector de espuma o a un cuenco dotado de una bomba para espuma. Otro método consiste en un colector del tipo de cadenas con rascadores que recoge la espuma en un lado del depósito y la arrastra a través de un pequeño plano inclinado a unas tolvas desde donde pueden bombearse a las unidades de evacuación.

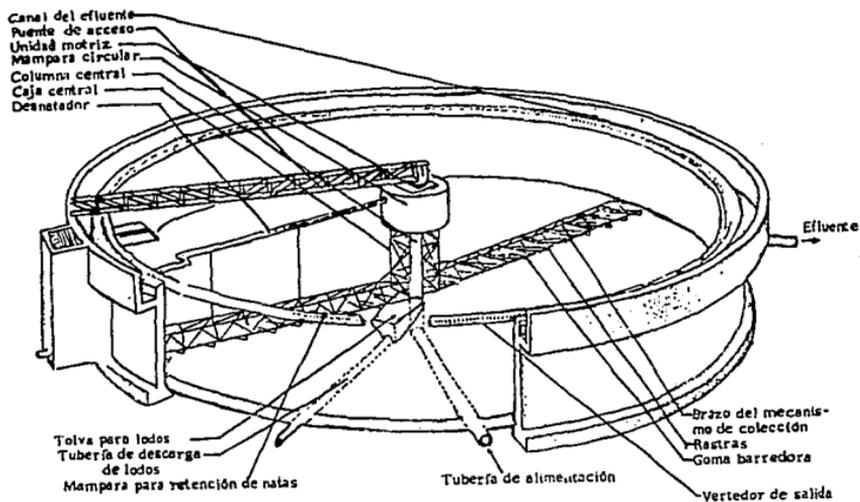
Tanques circulares

Los tanques de 3.6 a 9.0 m de diámetro tienen el equipo de extracción de fango soportado por medio de vigas de luz igual al diámetro del tanque. Los tanques de 10 m de diámetro y mayores, utilizan un pilar central que soporta el mecanismo y al que se llega por un puente o pasillo.

El agua residual es conducida hasta el centro del depósito por una tubería suspendida del puente o envuelta en hormigón por debajo de la solera. En el centro del tanque, el agua penetra en un pozo circular destinado a distribuir el caudal por igual en todas direcciones. El mecanismo de extracción gira lentamente y pueden tener dos o cuatro brazos equipados con rascadores. Los brazos tienen también unas cuchillas en superficie para la recogida de la espuma.

En otro tipo, existe un deflector circular de aluminio suspendido a corta distancia del muro del depósito, formando un espacio anular en el que se descarga el agua residual en dirección tangencial. El agua fluye según una espiral alrededor del depósito y por debajo del deflector recogándose el líquido clarificado por medio de unos vertederos colocados a ambos lados de un canal situado en la parte central. La grasa y la espuma quedan retendidas en la superficie del espacio anular. Figura 2.1 Se acostumbra disponer los tanques en grupos de dos o cuatro. El caudal se divide entre los tanques mediante una cámara de control situada entre aquellos. Por lo general, el fango es conducido a la cámara de control, desde donde se bombea a las unidades de evacuación. (Metcalf y Eddy; 1981).

FIGURA 2.1



TANQUE DE SEDIMENTACION PRIMARIA CIRCULAR.

ANEXO B

1.0) Fosas sépticas

Se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas residuales de residencias individuales. También se emplean en escuelas, parques, zonas para remolques-vivienda y moteles. Aunque a menudo se usen fosas de una sola cámara, el tipo adecuado consiste en dos o más cámaras en serie). En una fosa séptica de doble cámara, el primer compartimento se utiliza para la sedimentación, digestión del fango y almacenamiento de éste. El segundo compartimento proporciona una sedimentación y capacidad de almacenamiento de fango adicional y, por tanto, sirve para proteger contra la descarga de fango u otro material que pueda escaparse de la primera cámara. Es esencial disponer de la adecuada capacidad de almacenamiento, de forma que el fango depositado puede permanecer en el tanque durante un tiempo suficientemente largo para que se produzca su descomposición y digestión antes de ser extraído. Por lo general, el lodo deberá extraerse cada dos o tres años.

El efluente de las fosas sépticas se evacua normalmente a unos tubos enterrados en el subsuelo, o a zanjas de filtración, desde donde se filtra al terreno. (Metcalf y Eddy; 1981).

Está diseñado para mantener a las aguas residuales a una velocidad muy baja y bajas condiciones anaeróbicas, por un período de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con las corrientes de aguas residuales hasta la salida, por lo que salen algunos sólidos con el efluente. Debido a esto, los tanques sépticos ya no se usan, excepto en instalaciones muy pequeñas. Figura 2.2. (Falcón; 1981).

2.0) Tanques Imhoff o de doble acción

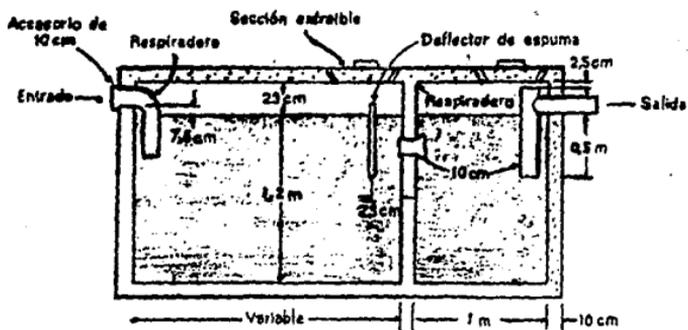
Se idearon para corregir los defectos del tanque séptico:

- Impedir que los sólidos que se han separado se mezclen nuevamente con las aguas negras.
- Proporcionar un efluente adaptable a un tratamiento ulterior.

El Dr. Karl Imhoff fue el primero que lo diseñó y puede ser rectangular o circular, y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de derrame continuo o de sedimentación.
- Cámara de digestión de los lodos.
- Respiradero y cámara de natas.

FIGURA 2.2



FOSA SEPTICA.

Metcalf & Eddy; 1981; 482.

ANEXO B

Es deseable invertir la dirección del flujo, para evitar el depósito excesivo de sólidos en un solo extremo de la cámara de sedimentación.

Durante la operación, todas las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación. Los sólidos se depositan en el fondo de 1.4 unidades en el sentido vertical para 1 horizontal, resbalando y pasando por una ranura que hay en el fondo. Una de las partes inclinadas del fondo se prolonga cuando menos unos 15 cm más allá de la ranura, lo cual hace de trampa que impide que los gases o partículas de lodo en digestión que hay en la sección inferior (Cámara de digestión), se pongan en contacto con las aguas negras que hay en la sección superior (Cámara de sedimentación). (Falcón; 1989).

Los gases y partículas ascendentes de lodo son desviados hacia la cámara de natas y respiradero. Esto elimina la desventaja del tanque séptico.

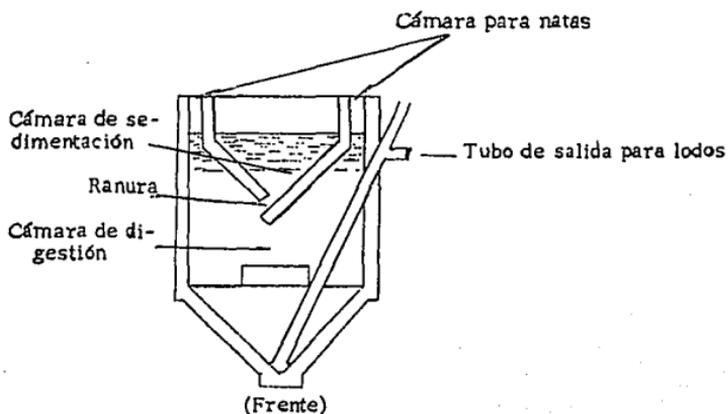
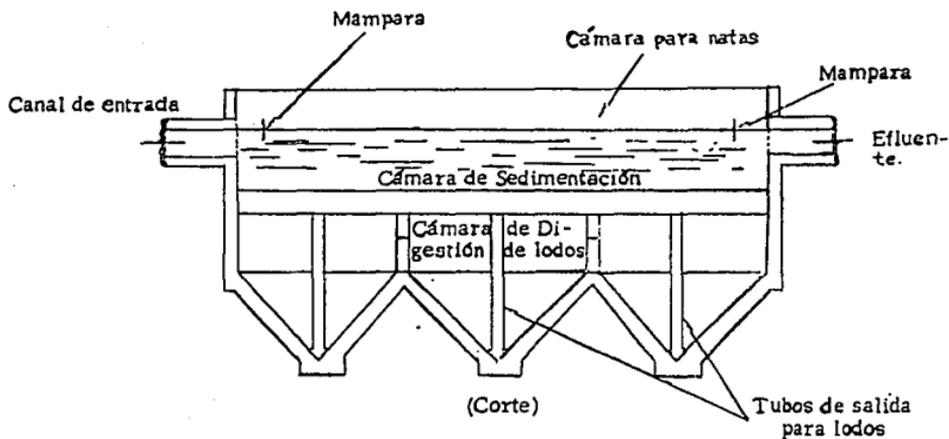
El tanque Imhoff consiste en un depósito de dos pisos en el que se consigue la sedimentación en el compartimento superior y la digestión en el inferior. Los sólidos que se sedimentan atraviesan unas ranuras existentes en el fondo del compartimento superior, pasando al compartimento inferior para su digestión a la temperatura ambiente. La espuma se acumula en los compartimentos de sedimentación así como en unos respiraderos de gas situados al lado de aquellos. El gas producido en el proceso de digestión en el compartimento inferior se escapa a través de respiraderos. Figura 2.3.

En la actualidad, su aplicación ha disminuido y está limitada a plantas relativamente pequeñas. Es sencillo de operar y no exige la supervisión por parte de personal especializado. No existe equipo mecánico que mantener y su funcionamiento consiste en eliminar la espuma a diario y descargarla en el respiradero de gas más próximo, invirtiendo la entrada y por tanto la circulación del agua residual dos veces al mes a fin de igualar la cantidad de sólidos en ambos extremos del compartimento de digestión y extrayendo fango periódicamente hacia las áreas de secado.

Los compartimentos de sedimentación de los tanques Imhoff normalmente se proyectan de modo que tengan una carga de superficie de $24 \text{ m}^3/\text{día m}^2$ a caudal medio y un periodo de detención de tres horas. El fondo aproximado del compartimento de sedimentación del tanque convencional sin calentamiento tiene una pendiente de 1.4 vertical por 1.0 horizontal. La ranura que permite que los sólidos caigan al compartimento de digestión tiene una apertura mínima de 0.15 m. Pueden instalarse varios compartimentos de sedimentación por encima de uno de digestión.

La capacidad del compartimento de digestión sin calentar debe proporcionar almacenamiento de fango para seis meses en promedio.

FIGURA 2.3



TANQUE IMHOFF.

ANEXO B

La forma mecanizada del tanque Imhoff consiste en un tanque circular de sedimentación, situado en la parte superior de un tanque circular de digestión de fango, con varios respiraderos de gas que suben hasta la superficie alrededor de la periferia de la unidad, las soleras de ambos compartimentos están ligeramente inclinadas hacia el centro con objeto de formar conos invertidos lisos.

El fango depositado es arrastrado mediante equipo mecánico hacia una abertura por la que es descargado al compartimento inferior o de digestión. El fango digerido es conducido, también mecánicamente, hacia una tubería central de extracción. El tanque mecanizado puede estar equipado para la recogida de espuma en su superficie o para agitarla debajo del techo del compartimento de digestión. Es recomendable controlar el pH en el compartimento de lodos por encima de 6.8 para prevenir cualquier condición ácida desfavorable para una digestión adecuada, lográndose esta mediante la adición de cal lechada.

El Tanque Imhoff no tiene problemas mecánicos, es económico y fácil de operar. Provee la sedimentación y digestión de los lodos en una sola unidad y debe producir un efluente primario, eliminando de 40 a 60% de sólidos suspendidos y reduciendo la DBO en un 25 a 35%. (Metcalf y Eddy; 1981).

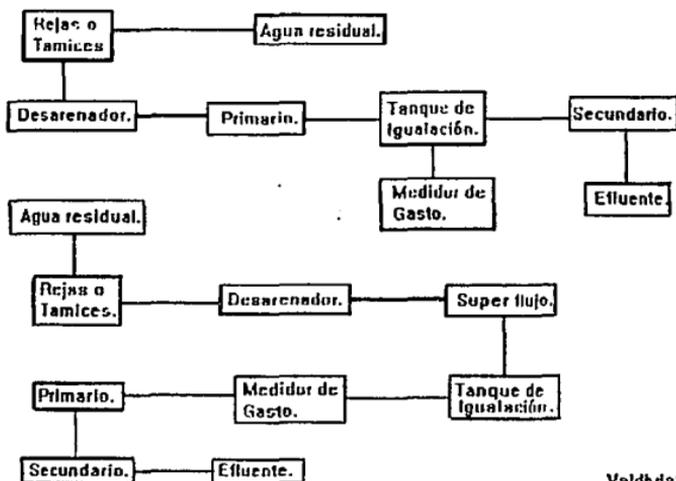
3.0) Igualación

Su objetivo principal es uniformizar las características de un gasto de un fluido. Consiste en el almacenamiento del líquido en un tanque de tal forma que al extraer el líquido se amortigüen las variedades del flujo logrando un flujo casi constante. Durante el almacenamiento de las aguas de los depósitos ocurren ciertas reacciones que alteran las características de las aguas, tales como el pH, color, turbiedad, alcalinidad y contenido de materia orgánica, es decir, el tanque de igualación, además de amortiguar las variaciones del flujo, uniformiza las características del mismo.

La localización de la igualación debe ser determinada para cada sistema en particular, por que ello variará con el tipo de tratamiento y las características del sistema colector y de las aguas residuales. Por tanto, debe estudiarse detenidamente el efecto de la localización en diversos puntos del sistema.

En algunos casos resulta adecuado, después del tratamiento primario y antes del tratamiento biológico. La igualación posterior al tratamiento primario disminuye los problemas con los lodos y natas. Si el sistema de igualación se instalara antes de la sedimentación primaria, el diseño deberá proveer suficiente mezclado para prevenir la depositación de sólidos y las variaciones de concentración, así como tener un sistema de aireación para prevenir problemas de olor. Diagrama 2.0. (Valdivia; 1989).

DIAGRAMA 2.0



Valdivia: 1989.

ANEXO B

4.0) Mezclado

Es una operación unitaria que tiene por objetivo combinar de manera uniforme sustancias distintas de igual o diferentes fases: líquido - líquido, líquido - gas, sólido - líquido, etc.

En todos los casos se debe alcanzar un estado tal que cada partícula de cualquiera de las sustancias esté lo más próxima posible a las partículas de cada una de las demás sustancias, visto de otra manera, el mezclado es la distribución al azar de dos sustancias inicialmente separadas.

Esta operación se lleva a cabo provocando corrientes internas en los fluidos, las cuales deben llegar a todos los puntos, por lo que el éxito de esta operación depende de una eficaz agitación; aunque se confunde con frecuencia agitación y mezcla, lo cual no necesariamente significa lo mismo. La agitación se refiere al movimiento inducido de un fluido, en forma determinada, generalmente circulatoria y dentro de algún tipo de recipiente, puede agitarse una sola sustancia, como un tanque de agua fría, pero no puede mezclarse a menos que se añada otra sustancia.

El mezclado puede realizarse de varias formas:

- En resaltos hidráulicos en canales.
- En tubos tipo venturi.
- En conducciones.
- En bombas.
- En recipientes con ayuda de medios mecánicos.

Tipo de agitadores e impulsores.

La forma de los agitadores es muy variada, desde el batidor de huevos domésticos hasta la turbina de flujo radial.

Los impulsores pueden ser de:

Paletas.- Se usan en mezclados lentos.

Turbina.- Se usan en mezclados moderados.

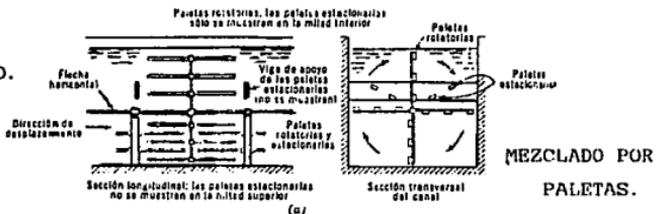
Hélice.- Se usan en mezclados rápidos.

Figura 2.4, 2.4.a y 2.4.b.

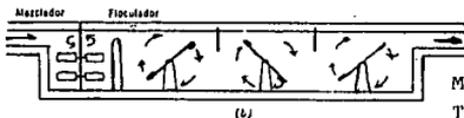
En el tratamiento de las aguas residuales, los agitadores de paletas se usan en la floculación, mientras que las de turbina en el proceso biológico para mezclar aire en los lodos, y por último, los de hélice en el mezclado de productos químicos o gases en líquidos. (Valdivia; 1989).

FIGURA 2.4

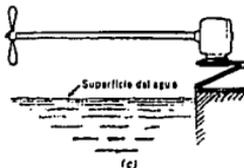
TIPOS DE MEZCLADO.



MEZCLADO POR PALETAS.

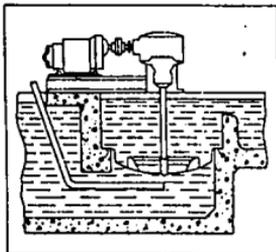


MEZCLADO POR TURBINAS.

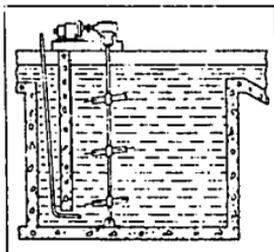


MEZCLADO POR HELICE.

MEZCLADO LENTO.

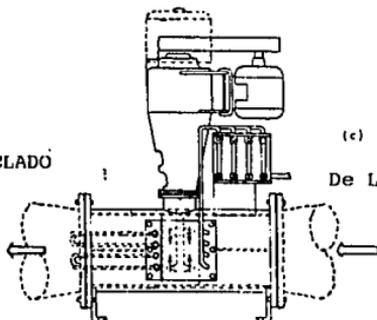


(a)



(b)

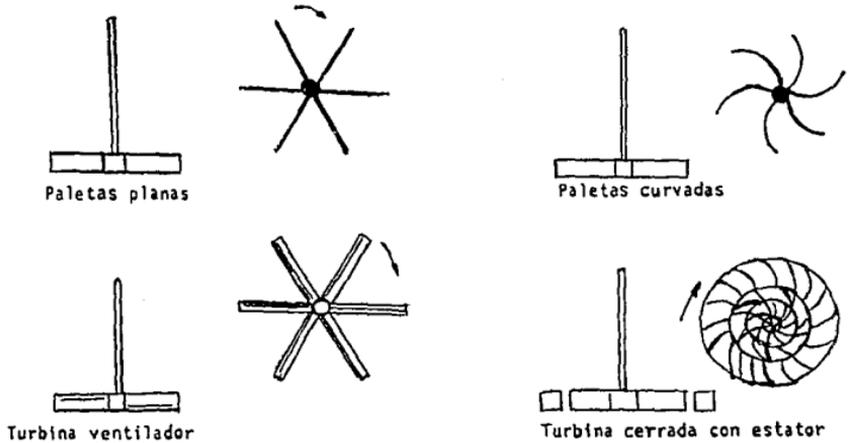
TANQUE DE MEZCLADO MECANICO.



(c)

De Lora; 1975; 165.

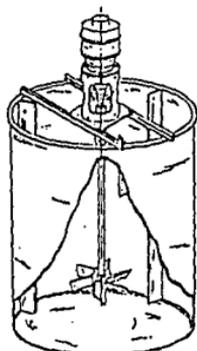
FIGURA 2.4a



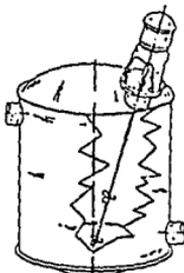
IMPULSORES DE PALETA Y HELICES PARA MEZCLADO.

Valdivia; 1989; 20.

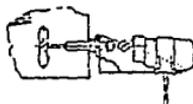
FIGURA 2.4b



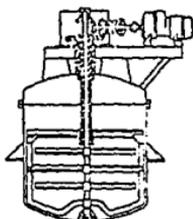
Rodete de seis paletas, productor de flujo axial, con cortacorrientes.



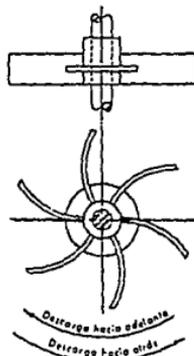
Montaje excéntrico de un agitador de dos rodetes de hélice.



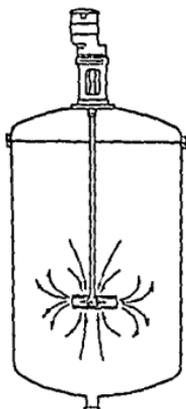
Montaje lateral de un agitador de hélice.



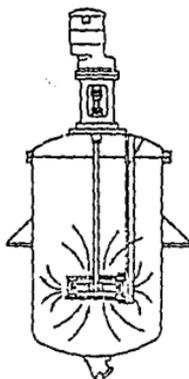
Combinación de paletas y ancla en un mismo sistema.



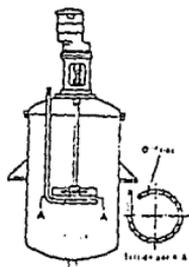
Rodete turbo para flujo radial.



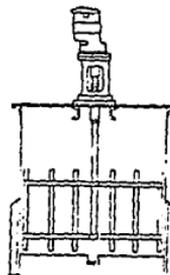
Turbina cubierta.



Turbina cubierta, con un anillo cortacorrientes fijo.



Turbina de flujo radial, con tubo para la introducción de un gas.



Mezclador de bastidor.

IMPULSORES DE TURBINA PARA MEZCLADO.

ANEXO B

5.0) Flotación

La flotación se usa principalmente en el tratamiento de aguas residuales que contienen grandes cantidades de residuos industriales con altas cargas de grasas y sólidos suspendidos finamente divididos. Las aguas residuales procedentes de fábricas de curtidos, refinado de aceites, conservas y lavanderías. También se considera idóneo para tratar residuos que contienen materias espumantes, ya que la espuma puede eliminarse y manejarse fácilmente en una unidad de flotación. (Metcalf y Eddy; 1981).

Tipos de flotación

De acuerdo a la forma como se suministra el aire en los sistemas de flotación, éstos se clasifican de la siguiente forma:

1) Flotación por aire.

En esta unidad, el aire se introduce directamente en el líquido por medio de difusores o impulsores giratorios a presión atmosférica, las burbujas de aire formadas por un largo periodo de tiempo son especialmente eficaces para conseguir la flotación de los sólidos.

2) Flotación por aire disuelto.

En este sistema, el aire se introduce en un líquido que se encuentra presurizado seguido de una liberación de presión hasta el nivel atmosférico, la forma de introducir el aire en el agua residual, favorece la disolución del aire en el líquido. Las burbujas de aire se forman cuando se provoca un decaimiento de la presión en el conjunto agua residual - aire disuelto, en forma similar a lo que ocurre cuando se destapa una bebida gaseosa, el gas disuelto en el líquido se separa de él a través de burbujas que ascienden a la superficie.

3) Flotación por vacío.

En este sistema, el aire se introduce en el agua residual ya sea directamente en un tanque de aireación por medio de difusores o impulsores, o bien permitiendo que el aire entre en el conducto de aspiración de una bomba de aguas residuales, posteriormente como el aire se encuentra disuelto en el agua a presión atmosférica al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas que arrastran las partículas sólidas a la superficie formando una capa de espuma, la capa formada se elimina mediante un rascador superficial.

ANEXO B

Este tipo de flotación es similar al anterior, con la diferencia de que en el otro los requerimientos de energía son para incrementar la presión por arriba de la presión atmosférica, mientras que es éste se utilizan para bajar la presión a valores por debajo de 1 atmósfera.

En los tres casos, los tanques constan de rastras para eliminar los lodos y espumas. Figura 2.5. (Valdivia; 1989).

6.0) TRATAMIENTO QUIMICO

Este tratamiento consiste en agregar uno o más reactivos a las aguas residuales para producir un flóculo (que es un compuesto químico insoluble que absorbe la materia coloidal), envolviendo a los sólidos suspendidos no sedimentables y que se depositan rápidamente.

La sustancia química que se precipita, también se disocia o ioniza en las aguas residuales y neutraliza las cargas eléctricas que tienen las partículas coloidales, haciendo que se aglomeren y formen grumos fácilmente sedimentables.

Una planta de tratamiento químico tiene usualmente las características siguientes:

- Dispositivos preliminares (cribas, desarenadores, etc.).
- Alimentadores de reactivos.
- Unidades mezcladoras.
- Tanques de floculación.
- Tanques de sedimentación.
- Sistema de tratamiento de los lodos. (Falcón; 1989).

Los reactivos que más se emplean son el Sulfato de Aluminio (Alumbre), Sulfato ferroso con Cal, Sulfato férrico y Cloruro férrico con o sin Cal.

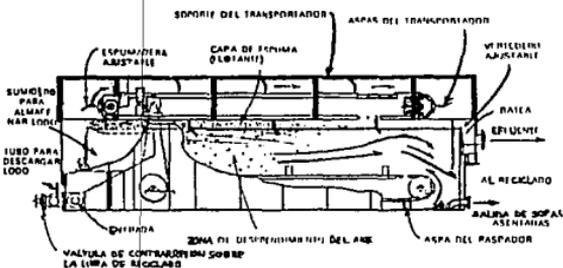
Coagulación - floculación

Al proceso mediante el cual las partículas eléctricamente negativas (llamadas coloides) en el agua, se neutralizan por la adición de productos químicos, se le conoce como coagulación.

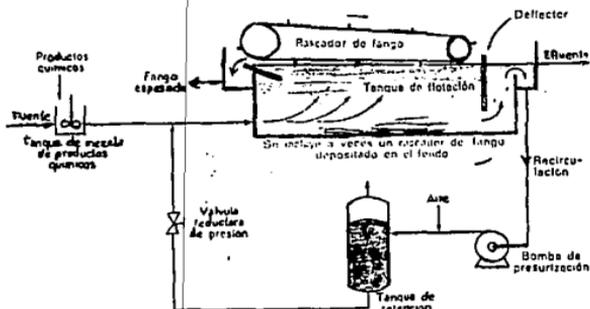
Y al proceso ocurrido después de la coagulación, y en el cual se agregan éstas partículas, para formar masas más densas, se le conoce como floculación. (Kemmer; 1989).

La floculación se ve favorecida por una agitación moderada con paletas a poca velocidad. a veces la acción es mejorada por la instalación de paletas auxiliares fijas, o paletas estatóricas, situadas entre las paletas móviles, que sirven para interrumpir la rotación de masa del líquido y activar el mezclado. Figura 2.6.

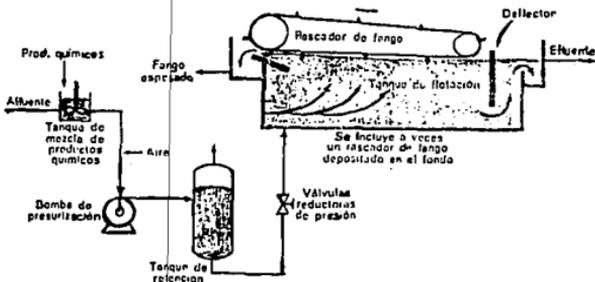
FIGURA 2.5 TIPOS DE FLOTACION.



FLOTACION POR AIRE.

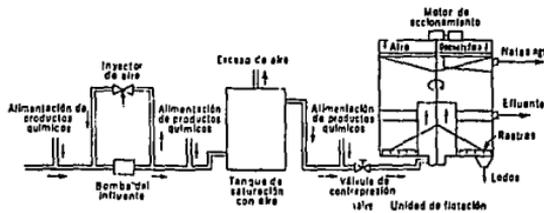


FLOTACION POR AIRE DISUELTO CON RECIRCULACION.



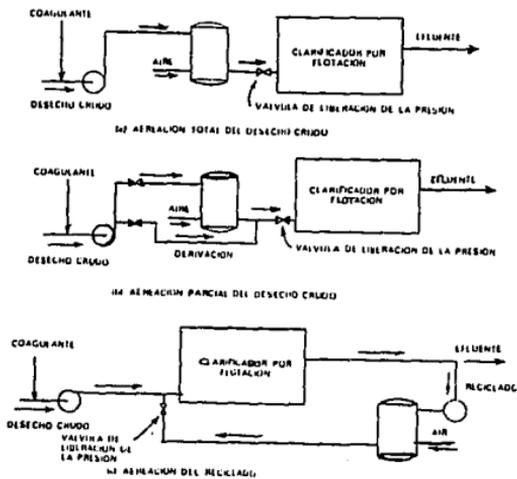
FLOTACION POR AIRE DISUELTO SIN RECIRCULACION.

FIGURA 2.5
TIPOS DE FLOTACION.



FLOTACION POR VACIO.

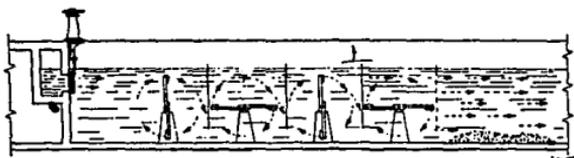
De Iora; 1975; 756.



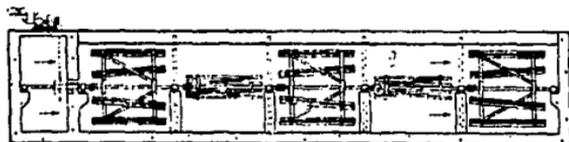
VARIOS DIAGRAMAS DE FLOTACION POR AIRE.

Kemmer; 1989; 9-18.

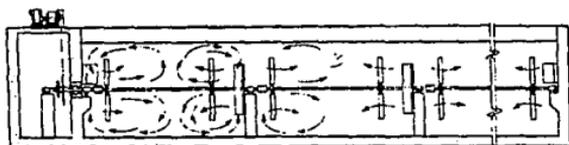
FIGURA 2.6
TIPOS DE FLOCULADORES.



FLOCULADOR DE PALETAS.



FLOCULADOR DE PALETAS EN SERIE.



FLOCULADOR DE HELICE.

ANEXO B

Un mayor contacto entre las partículas favorecerá la formación de flóculos; sin embargo, si la agitación fuese demasiado fuerte, se romperán los flóculos en partículas más pequeñas.

Es por esta razón, que la agitación debe controlarse con mucho cuidado, de modo que los flóculos sean del tamaño adecuado y se depositen rápidamente.

La finalidad de la floculación del agua residual es formar agregados o flóculos de materia finamente dividida.

La floculación del agua residual mediante aire o agitación mecánica merece la pena considerarse cuando se pretenda aumentar la eliminación de sólidos suspendidos y la DBO en los tanques de sedimentación primaria.

La floculación puede resultar beneficiosa al acondicionar aquellas aguas que contengan ciertos residuos industriales. Cuando se añadan productos químicos, el periodo de detención a caudal de proyecto no deberá ser inferior a 20 minutos y, preferiblemente, debería ser de 30 minutos.

Las paletas para la agitación mecánica deberán tener una velocidad periférica de 0.45 m por segundo, y un variador de velocidad que permita un ajuste del 50% por encima de la susodicha. En la agitación por aire suelen utilizarse tubos porosos o boquillas difusoras. La cantidad de aire necesaria es, aproximadamente, de 0.5 a 0.9 m³/m³ de agua tratada para un periodo de detención de 45 minutos. Los tanques son semejantes a los de aireación de flujo en espiral y a los desarenadores aireados. Si el flujo en espiral debido a la agitación por aire se vuelve muy turbulento, no habrá floculación.

Los productos químicos necesarios en el tratamiento de agua incluyen: un coagulante, generalmente sulfato de aluminio; desinfectantes (cloro); y, cuando es necesario alcalis (cal), para control de pH.

Los coadyuvantes coagulantes también se pueden usar para mejorar el proceso de coagulación - floculación o disminuir el consumo de coagulantes. (Schulz; 1990).

ANEXO B**Coagulantes Primarios:**

Los coagulantes más empleados en el tratamiento del agua, en los que destacan los coagulantes metálicos basados en el aluminio y hierro, entre otros, son los que se muestran en la tabla siguiente:

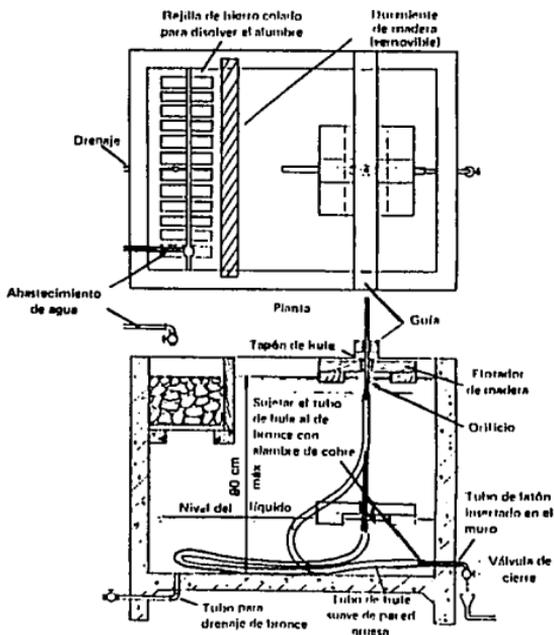
COMPUESTOS QUIMICOS	FORMULA
Sulfato de aluminio hidratado	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
Alumbre líquido	$Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$
Hidróxido de calcio	$Ca(OH)_2$
Hipoclorito de calcio	$Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$
Oxido de calcio	CaO
Cal clorada	$CaO \cdot 2CaOCl_2 \cdot 3H_2O$
Cloro	Cl_2
Sulfato de cobre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$ y $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$
Sulfato ferroso	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Carbonato de sodio	Na_2CO_3
Hipoclorito de sodio	NaOCl

(Schulz; 1989) Figura 2.7.

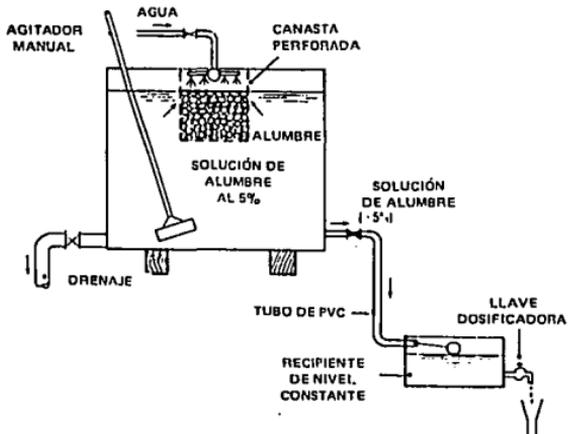
Si la alcalinidad natural del agua es insuficiente para reaccionar con la dosificación del coagulante agregado (es decir, el pH cae por debajo del rango para la coagulación óptima), entonces se deben añadir álcalis, los más empleados son:

- Carbonato de sodio (sosa comercial, Na_2CO_3).
- Oxido de calcio (cal viva, CaO).
- Hidróxido de calcio (cal apagada, $Ca(OH)_2$).
- Hidróxido de sodio (sosa cáustica, NaOH).

FIGURA 2.7



ALIMENTADORES DE SULFATO DE ALUMBRE.



ANEXO B

Coadyuvantes para la coagulación:

Una gran variedad de materiales tanto sintéticos como naturales están disponibles. La aplicación correcta de estos coadyuvantes puede mejorar las características de sedimentación y la firmeza del floculo, lo que a su vez permite periodos de sedimentación más cortos y tasas de filtración más altas. Sin embargo, lo más importante de los coadyuvantes es que pueden reducir significativamente la dosis requerida del coagulante primario.

polielectrólitos:

Son grandes moléculas orgánicas solubles en el agua, formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en una cadena larga.

De ordinario incorporan en su estructura sitios para intercambio iónico que dan a la molécula una carga iónica.

Aquellos que tienen una carga positiva son catiónicas, las que tienen carga negativa, son aniónicas, y los que portan ambas cargas son anfotéricas.

En general, éstas moléculas reaccionan con el material coloidal en el agua, neutralizando la carga o enlazando partículas individuales para formar un precipitado visible e insoluble, esto es, un floculo. (Kemmer; 1989).

Los polielectrólitos anfotéricos se derivan en la mayoría de los casos, de productos naturales y han demostrado su eficacia como coadyuvantes coagulantes en el tratamiento del agua, y a los que se les dará especial interés en esta sección.

Los polielectrólitos naturales se han utilizado por muchos siglos en los países en desarrollo para clarificar el agua.

Códices escritos en sánscrito procedentes de la India, refieren que las semillas del árbol nirmali (Stychnos potatorum), se utilizaron hace 4,000 años para clarificar aguas fluviales turbias.

En Perú, el agua se ha clarificado tradicionalmente con la savia mucilaginoso de " Pencas " obtenidas de ciertas Cactáceas.

En varios países de Africa (Chad, Nigeria, Sudán y Túnez), los aldeanos añaden al agua para beber plantas nativas para reducir la turbiedad o los olores o sabores desagradables.

Los británicos estuvieron entre los primeros en utilizar polielectrólitos naturales como coadyuvantes coagulantes en el abastecimiento de agua urbana.

El alginato de sodio, extraído de algas pardas, ha sido utilizado con dosis de 0.4 a 0.5 mg/l como coadyuvante para el sulfato de aluminio.

ANEXO B

Otros polímeros naturales que se han utilizado exitosamente en Inglaterra son la hidroxietil celulosa (HFC) y el "Wisprofloc", derivado del almidón de patata.

El Instituto Nacional de Investigación en Ingeniería Ambiental, " NEERI " (siglas en inglés) de la India, ha realizado estudios de varias especies vegetales para determinar su eficacia como coadyuvantes coagulantes.

Se estudiaron las semillas de las siguientes especies:

- Arbol de nirmeli (Strychnos potatorum)
- Arbol de tamarindo (Tamerindus india)
- Planta de guar (Cyamopsis psoraloides)
- Planta de solera rojo (Hibiscus sabdariffa)
- Fenogreco (Trigonella foenum)
- Lenteja (Lens esculenta)
- semillas del árbol Moringa oleifera

Obteniendo los resultados siguientes:

- La dosis efectiva es de 2 a 20 mg/l en el rango de pH de 4 a 9.
- No son económicos para turbiedades de agua menores de 300 UTN.
- Son eficaces en niveles de alta turbiedad, en los cuales es posible obtener ahorros del 40 al 50% en el consumo de sulfato de aluminio.
- Se deterioran en tres meses aproximadamente, aún después de la adición de conservadores.

Todos los polímeros estudiados en la India se preparan de la siguiente manera:

1. El material en bruto se deja libre de cualquier material fibroso y se pulveriza.
2. El polvo se tamiza para remover la cáscara y se mezcla con óxido de calcio comercial en una proporción 9:1.
3. Se añade un volumen de agua de 0.5 m³ a 1.0 kg de la mezcla para formar una solución lechosa.
4. Se calienta la solución.

ANEXO B

La solución se puede aplicar mediante alimentadores tipo solución convencionales.

Un polielectrólito catiónico llamado quitonasa, que es un derivado de la quitina de los caparzones de crustáceos como camarones y langostas, y que se produce mediante la descacetilización parcial en soluciones alcalinas concentradas a 135 - 150°C, en Japón se ha utilizado como coadyuvante coagulante desde 1950. (Schulz; 1990).

6.1) Proceso Guggenheim

En este proceso, el agua residual es sometida a dos operaciones:

- 1) eliminación de la materia suspendida y materia disuelta no básica, mediante coagulación y precipitación con un álcali y una sal de hierro, tal como cal y sulfato férrico, y
- 2) eliminación de compuestos básicos solubles haciendo pasar el agua residual clarificada a través de un lecho de intercambio de bases constituido por zeolitas.

El fango es eliminado por filtración e incineración, y la ceniza resultante es tratada para la recuperación de hierro en forma de sulfato férrico. La zeolita es regenerada mediante una solución de salmuera, de la que seguidamente se recupera amoniaco.

6.2) Proceso Laughlin

Las sustancias que se añaden al agua residual desprovista de sólidos gruesos varían de vez en cuando pero, en general, consisten en pulpa de papel usado, cal y cloruro férrico.

Al agua residual, tras recibir su dosificación de productos químicos se somete a un breve periodo de mezclado enérgico, seguido de floculación y sedimentación durante un periodo de 1 a 3 horas.

El efluente de los dos tanques de precipitación sufre una filtración rápida a través de una capa delgada de arena de magnetita, que se limpia periódicamente con un dispositivo magnético móvil. El efluente final es clorado y el fango deshidratado mediante filtración al vacío. A continuación, se dispone en un incinerador para eliminar el fango deshidratado.

ANEXO B

6.3) Tratamiento completo

El Diagrama 2.1 presenta el tratamiento completo de agua residual cruda, con inclusión de eliminación de fósforo y nitrógeno. Como en él se indica, después de la precipitación con cal en primera fase, el agua residual se hace pasar a través de una torre de arrastre para eliminar el amoníaco.

A continuación se reduce el pH del agua residual por carbonatación, y el carbonato cálcico se separa por una precipitación en segunda fase.

Seguidamente el agua pasa por un filtro multicapa para eliminar los flóculos residuales y, por último, a través de columnas de carbón activado para eliminar la materia orgánica disuelta, antes de su evacuación al medio receptor o de su reutilización. La cal requerida será función de la alcalinidad del agua residual cruda.

Puede calcularse la dosis requerida en la mayoría de las aguas residuales. Según el funcionamiento de la torre de arrastre (por ejemplo, relación aire-líquido), así como de las características del agua residual, puede ser posible reducir la dosis de cal. Por desgracia, la dosis necesaria solamente puede determinarse por ensayos en planta piloto con las aguas residuales a tratar.

Cuando la eliminación del nitrógeno no sea necesaria, se puede utilizar un proceso de tratamiento químico completo que consiste en el uso del sulfato de alúmina como agente de precipitación.

Tras la floculación y sedimentación, el efluente se hace pasar a través de filtros multicapa para eliminar los flóculos residuales. La fase final del proceso consiste en el paso del agua filtrada por columnas de carbón activado para eliminar la materia orgánica restante. El efluente puede entonces reutilizarse o descargarse al medio receptor.

6.4) Eliminación del fósforo

Los productos químicos utilizados en la eliminación del fósforo son: cal, sulfato de alúmina y sulfato y cloruro férrico. También se han usado con éxito ciertos polímeros junto con la cal y el sulfato de alúmina. Normalmente, estos productos químicos se añaden al agua residual sin tratar y los precipitados que contienen el fósforo son separados en los tanques de sedimentación primaria. El efluente de estos tanques se somete seguidamente a un tratamiento biológico convencional. En algunos casos se han añadido productos químicos al tanque de aireación o en la tubería que conduce a los tanques de sedimentación del fango activado. (Metcalf y Eddy; 1981).

ANEXO B

7.0) DESINFECCION

Los reactivos más utilizados en las plantas de tratamiento de agua residual son los compuestos de cloro, como el hipoclorito de sodio y de calcio así como el gas cloro. Ultimamente se ha venido empleando Ozono.

7.1) Hipoclorito cálcico

Las formas preferidas son las pastillas o los gránulos, ya que se disuelven fácilmente en agua y, en las debidas condiciones de almacenaje, son relativamente estables. Deben guardarse en un local seco y frío, apartado de otros productos químicos en recipientes anticorrosivos.

7.2) Hipoclorito sódico

Al igual que el anterior, son de forma granular en pastillas o en solución. Tiene que guardarse en un lugar frío en un tanque resistente a la corrosión. Figura 2.8.

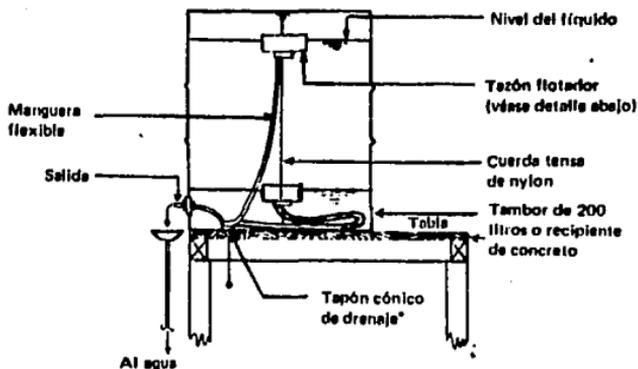
7.3) Cloro

El cloro se suministra como un gas licuado a alta presión en bombas que varían de tamaños de 50 a 75 Kilogramos hasta receptáculos de toneladas, como camiones o camiones-cisterna.

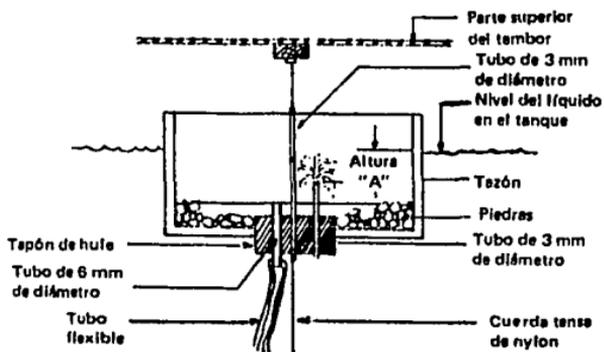
- El gas cloro es sumamente venenoso y muy corrosivo. Deberá preverse una adecuada ventilación para extracción del gas a nivel del suelo, ya que el gas cloro es más pesado que el aire.
- Las salas donde se almacene el cloro y esté instalado el equipo clorador deberán estar separadas por tabiques del resto de la planta y sólo se podrá tener acceso a ellas por puertas exteriores y deberá construirse una ventana fija de observación en la pared interior. En la entrada deberá haber la conexión de un ventilador y máscaras de gas.
- El gas y líquido de cloro seco pueden manipularse en conducciones de hierro forjado, pero la solución de cloro es muy corrosiva y deberá manipularse en tuberías de plástico o forradas de caucho con difusores de caucho duro.
- El almacén deberá tener capacidad para una reserva de 30 días.
- Los cilindros que se utilizan se fijan sobre balanzas de plataforma, a nivel del suelo, y la pérdida de peso se usa como un registro en la dosis de cloro.

(Metcalf y Eddy; 1981).

FIGURA 2.8



CORTE



CORTE DETALLADO DEL TAZÓN FLOTADOR

HIPOCLORADORES.

ANEXO B

Como ya se señaló antes, en las plantas de tratamiento los gases comprimidos pueden emplearse tanto en forma gaseosa como en la líquida. Cuando la transferencia de calor natural a uno o varios recipientes de cloro es insuficiente para evaporarlo a la velocidad deseada sin recurrir a sistemas colectores muy complejos, el elemento debe retirarse del recipiente en el estado líquido y vaporizarse a continuación. Cuando las necesidades sean superiores a 900 - 1,300 kg/día, por regla general habrá que emplear un evaporador.

La mayor parte de los modelos de equipos protegidos por marcas industriales de capacidades de hasta 3,600 kg/día como máximo, incluyen una cámara de presión de cloro herméticamente cerrada, que se sumerge en un baño de agua caliente con salida a la atmósfera. El agua se calienta con calentadores eléctricos de inmersión, controlados termostáticamente para mantener una temperatura constante y garantizar un suministro de gas cloro supercalentado. En otros métodos la calefacción se efectúa por vapor o con agua caliente que atraviesa la unidad por tuberías.

Para la aplicación del gas cloro se pueden emplear dos métodos distintos: alimentación directa, que implica la medida del gas cloro seco y su envío, en las condiciones de presión necesarias, al agua que se está clorando. Figura 2.9

Alimentación por solución, que involucra la medida del gas cloro seco y en disolución en la cantidad adecuada de agua, de tal modo que se aplique a la que se está clorando una solución de una concentración relativamente alta. Figura 2.10.

Los equipos para la aplicación controlada del gas cloro pueden dividirse en los tipos generales siguientes:

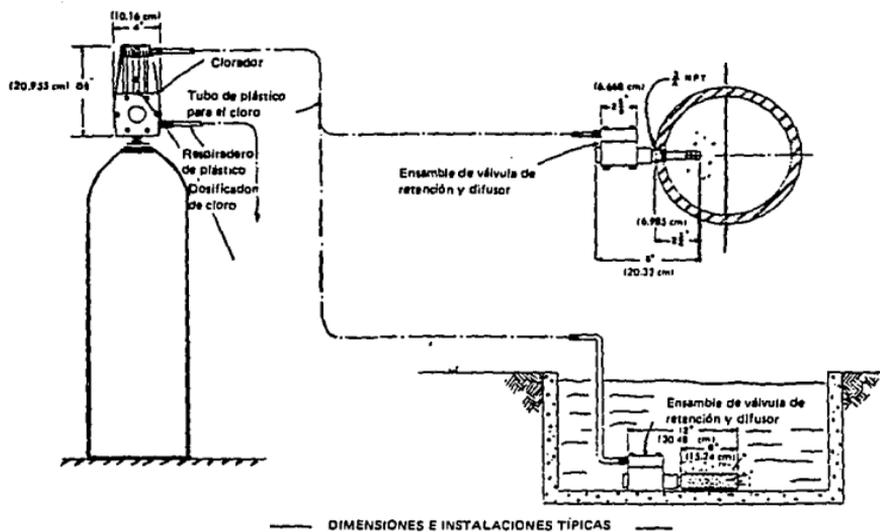
Alimentadores a presión.

Están equipados con una válvula de compensación de la presión que garantiza la precisión en la medida del gas, una válvula de bloqueo y regulación de contrapresión; que tiene por objeto mantener una presión constante, también disponen de medios inyectoros para introducir el gas en una corriente menor de agua que se aplica en el punto deseado de introducción del cloro.

Alimentadores a vacío.

El gas cloro penetra en el equipo de alimentación a una presión positiva determinada, que se reduce inmediatamente a un pequeño vacío mediante una válvula reductora de resorte tipo diafragma. A continuación pasa a través de un rotámetro, que indica el caudal de cloro, de ahí, pasa a través de un contador tipo orificio variable y de otra válvula diferencial accionada por diafragma, después pasa a un inyector aspirante accionado por aguas, en el que también puede mezclarse con una pequeña cantidad de ésta antes de llegar al punto de aplicación. Figura 2.11.
(De Lora; 1975).

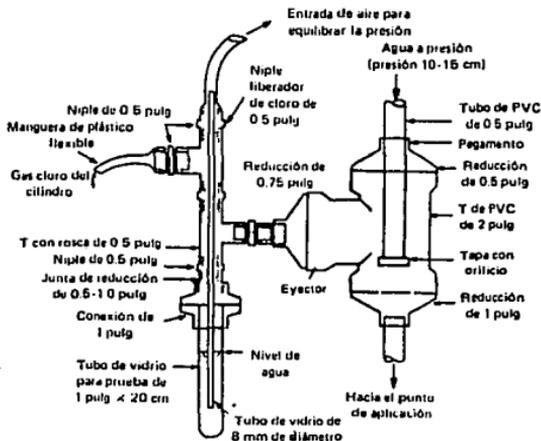
FIGURA 2.9



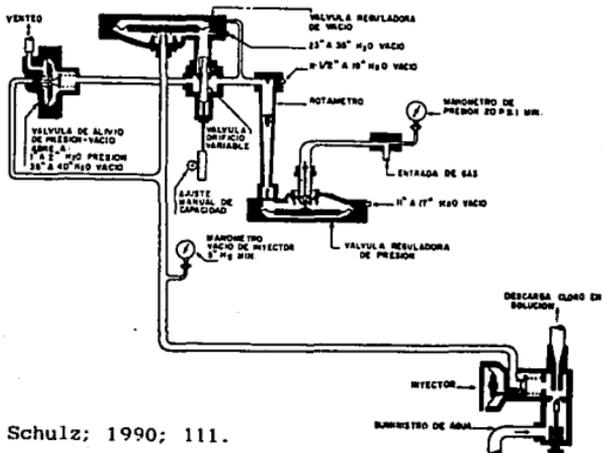
ALIMENTADOR DE CLORO CASEOSO.

Schulz; 1990; 113.

FIGURA 2.10

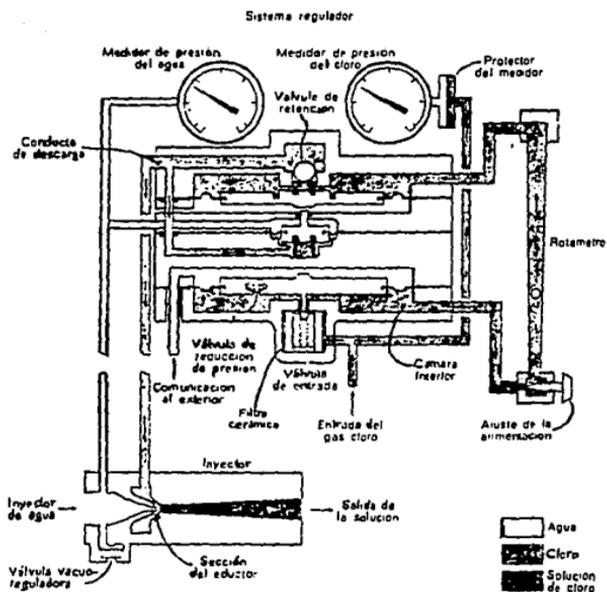


ALIMENTADORES DE CLORO EN SOLUCION.



Schulz; 1990; 111.

FIGURA 2.11



ALIMENTADORES DE CLORO A VACIO.

ANEXO B

7.4) OZONO

Las ventajas de usar ozono son:

- Generalmente iguala o excede en sus efectos germicidas al cloro en una amplia variedad de circunstancias. Y lo más importante es que es efectivo contra los organismos que son resistentes al cloro tales como algunas bacterias, virus y quistes.
- Puesto que el ozono generalmente se produce a partir de aire, su suministro depende únicamente de una fuente de potencia.
- La potencia del ozono es independiente del pH o contenido de amoníaco.
- Los efluentes ozonizados no son tóxicos a la flora y fauna del agua receptora, no aumentan la concentración de sólidos disueltos en el afluente.
- En descomposición, el material que queda como residuo es oxígeno disuelto.
- Abate olores y reduce el contenido de fierro y manganeso.

Las desventajas son:

- Alto costo y operación asociado con su producción.
- A una determinada concentración crítica se lleva a cabo la desinfección completa.
- No puede ser almacenado.

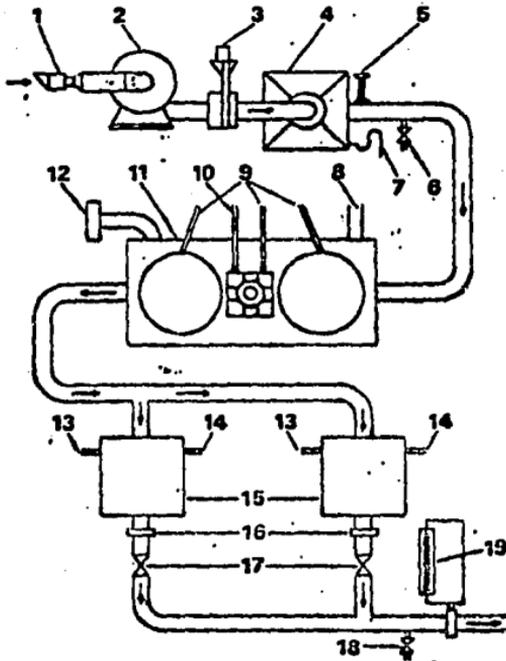
Se obtiene haciendo pasar una corriente a través de aire atmosférico seco entre dos electrodos estacionarios de alta tensión, con este tratamiento un pequeño porcentaje del oxígeno del aire se convierte en ozono. El ozono puede aplicarse al agua en una cámara de mezcla que cuenta con muchos deflectores. (De Lora; 1975).

Una planta típica de ozonación tiene el siguiente equipo:

Limpiadores de aire, sopladores y secadores, refrigerantes y adsorbentes de aire para acondicionar y transportar el aire que va a ser ozonizado, un transformador para incrementar la línea de voltaje anterior a la descarga de suministro de aire y una cámara de contacto o torre de ozono para efectuar la transferencia de ozono desde la fase gas hasta la fase líquida.

El tiempo de contacto requerido está en el orden de 10 minutos y la concentración de ozono tendrá que estar entre 1 y 4 mg/l. La energía requerida para producir ozono es aproximadamente de 0.3 Kw/hra/gr de ozono, incluyendo equipo complementario. Figura 2.12. (SARH; 1980).

FIGURA 2.12



INSTALACION TIPICA PARA PRODUCIR OZONO.

ANEXO B

C) TRATAMIENTO SECUNDARIO

En estos sistemas se emplean cultivos biológicos, para llevar a cabo una descomposición aeróbica y/o anaeróbica del material orgánico transformándolo en compuestos más estables.

1.0) FILTROS GOTEADORES O ROCIADORES

Es un proceso en el cual las unidades biológicas se cubren con colonias vegetales (zoogleas) procedentes de las bacterias de las aguas residuales. Estas colonias adsorben y oxidan la materia orgánica disuelta y coloidal de las aguas residuales aplicadas a las mismas.

El proceso se puede resumir como sigue:

- Crece una película activa en la superficie del lecho.
- Se produce una concentración de materia coloidal gelatinosa.
- Estas substancias son atacadas por bacterias que las reducen a compuestos más simples de forma que el NH_3 se libera y oxida por medios químicos y bacteriológicos dando una reducción gradual del NH_3 y un incremento de NO_2 y NO_3 .
- En la superficie se acumula un lodo floculante en forma de humus que contiene muchos protozoarios y hongos, cuando es demasiado pesado se desliza y precipita.

Parte del oxígeno se obtiene al distribuir las aguas residuales, suministrando aire en el filtro o permitiendo que el agua residual oscura en el filtro. Otra parte se produce por convención debida a la diferencia de temperatura entre el agua que llega y el lecho. Cuanto mayor es la superficie, mayor es el número de organismos que se ponen en contacto con el líquido para la purificación; cuanto mayor es el número de organismos mayor es la purificación del líquido. Cuanto más pequeños sean los trozos de lechos, mayor será la purificación.

(Nemerow; 1977).

Es un lecho de piedras y grava con un espesor comprendido entre 1 a 3 metros, a través del cual pasa lentamente el agua de albañal. Las bacterias se acumulan y multiplican sobre la piedra y la grava, hasta hacerse lo bastante numerosas como para consumir la mayor parte de la materia orgánica del agua residual. Esta, después de pasar por el lecho activado, sale goteando por unos tubos situados en el fondo del filtro. El filtrado no es la parte importante del proceso, si no la adsorción de la materia orgánica sobre las piedras y grava cenagenosas, a la que sigue una descomposición bacteriana que limpia el agua. En la zona próxima a la superficie del filtro tienen lugar procesos aerobios importantes, pero a medida que aumenta la profundidad predomina la actividad anaerobia.

ANEXO B

Es un dispositivo que pone en contacto a las aguas residuales sedimentadas con cultivos biológicos. Deben ser precedidos por tanques de sedimentación primaria equipados con colectores de natas.

Un tratamiento primario antes de estos filtros, permite aprovechar al máximo su capacidad haciendo fácilmente sedimentables a los sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos.

Estos sólidos orgánicos en su mayor parte, no son separados de las aguas residuales, sino que se convierten en parte integrante de los microorganismos o de la materia orgánica estable que se adhiere temporalmente al medio filtrante, y de la materia orgánica que sale en el efluente.

El material adherido se desprende eventualmente y es arrastrado por el efluente del filtro.

Por esta razón los filtros goteadores deben proceder a tanques de sedimentación secundaria, para eliminar definitivamente los sólidos de las aguas residuales: (Falcón; 1989).

Un filtro goteador típico, consiste de tres partes: el lecho o medio filtrante, un sistema recolector y un mecanismo para distribuir uniformemente las aguas residuales sobre la superficie del filtro. (Falcón; 1989).

a) Medio filtrante

El medio de contacto de los filtros goteadores debe ser resistente al clima; suficientemente resistente para poder soportar su propio peso y cargas vivas razonables durante la construcción, inspección y reparación; y no estar sujeto a daño y desintegración bajo exposición al agua, aire, frío, crecimientos biológicos y al anegamiento o la dosificación de productos químicos para el control de insectos. (Fair;1976).

Se han usado piedras del suelo, grava, piedra triturada, escorias de los altos hornos, basalto, granito y antracita. También se han usado los bloques de madera de pino, carbón duro, coque, ceniza, materiales cerámicos y plásticos así como material inerte moldeado en formas adecuadas.

Cualquiera que sea el producto que se emplee, usualmente se especifica que debe ser homogéneo, duro, limpio, sin polvo e insoluble con los constituyentes de las aguas residuales.

La forma del material debe ser casi cúbica, para impedir que se apelmace, y de un tamaño tal que pase a través de una malla de aberturas de 12.5 cm, pero que sea retenido por una malla de 5 cm. La capa del medio filtrante no debe ser menor de 1.5 m de espesor ni mayor de 2.1 m.

ANEXO B

El lecho puede ser rectangular o circular. El primero se usa cuando las aguas residuales se distribuyen mediante aspersores fijos, y el segundo, cuando se usan sistemas distribuidores giratorios. El medio filtrante sirve para el doble propósito de proporcionar una gran superficie sobre la cual puedan formarse los lodos y películas gelatinosas que producen las bacterias y de que queden suficientes huecos que permitan que el aire circule libremente por todo el filtro. (Falcón; 1989).

b) Sistema recolector

Satisfacen dos propósitos:

- Retirar las aguas residuales que han pasado a través del filtro para aplicarles el tratamiento subsecuente y se disponga de ellas.
- Proporcionar ventilación al filtro para mantenerlo en condiciones anaeróbicas.

La dirección de la circulación del aire a través del filtro y las aguas residuales que se utilicen. Cuando las piedras del filtro estén más calientes que las aguas residuales, la corriente del aire a través del filtro será hacia arriba. Si la temperatura del filtro es más baja, la dirección de la corriente de aire será hacia abajo. El sistema recolector consiste de bloques prefabricados para filtro, los cuales son de arcilla vidriada o de concreto, y que cubre completamente el fondo del filtro dejando entre sí, canales para el efluente. La forma de estos bloques es rectangular generalmente y tienen ranuras en su cara superior igual a un 20% de su superficie, cuando menos. (Falcón; 1989).

c) Distribuidores

Las aguas residuales se distribuyen en la superficie del lecho mediante aspersores fijos o distribuidores giratorios. Los aspersores fijos se usaron cuando empezaron a ensayarse los filtros goteadores. Los aspersores se fijan en tubos que descansan sobre el medio filtrante y son alimentados mediante un tanque dosificador controlado por un sifón. Por este método se aplican las aguas residuales al filtro durante periodos cortos. Entre las aplicaciones se dispone de periodos de descanso durante los cuales pueden llenarse el tanque dosificador. Aún en las mejores condiciones, la distribución no es homogénea y siempre quedan fracciones de la superficie del filtro sobre las cuales cae muy poca cantidad de aguas residuales. Los aspersores fijos han sido substituidos en su mayoría por distribuidores giratorios, los cuales llevan una dosificación más uniforme sobre toda la superficie del lecho. En los distribuidores giratorios, las aguas residuales se alimentan por medio de una columna central, hueca, a la que están conectados dos o más ramales. Cada ramal tiene cierto número de conexiones para aspersores. (Falcón; 1989).

ANEXO B

Los filtros goteadores se clasifican en: filtros goteadores de gasto normal y filtros goteadores de gran gasto.

Los filtros de gasto normal, incluyendo las unidades de sedimentación primaria y secundaria, deben eliminar de 80 a 85% de la DBO, operan con cargas hidráulicas de 10,000 a 40,000 m³ por hectárea y por día, con una carga orgánica de 0.08 a 0.40 kg/m³ de medio filtrante y por día.

Los filtros de gran gasto que incluyan sedimentación primaria y secundaria bajo condiciones normales de operación deben eliminar de 60 a 85% de la DBO, operan con cargas hidráulicas de 80,000 a 400,000 m³ por hectárea y por día, con cargas orgánicas de 0.40 a 0.80 kg/m³ de medio filtrante y por día.

Las aguas residuales se aplican intermitentemente, procurando que los períodos de descanso no sean mayores de 5 minutos, de acuerdo con el gasto de las aguas residuales que se haya determinado. (Falcón; 1989).

Los pisos se construyen generalmente de concreto con refuerzo de malla de acero. tienen una pendiente de 0.5 a 5%. Existen canales principales de drenaje diagonales o periféricos que reciben a los flujos laterales provenientes de bloques precolados, perforados, de barro vidriado o de concreto.

Los bloques se encuentran tendidos a ángulos rectos respecto a los drenes principales. sus perforaciones están orientadas hacia arriba y ocupan 20% o más de la cara superior.

Con objeto de promover la ventilación, los canales existentes dentro de los bloques se diseñan para que el flujo llegue hasta su mitad como máximo. Las velocidades se establecen generalmente de 0.61 a 0.91 mps. debido a que las películas desprendidas son arrastradas por las aguas tratadas, deberá ser posible limpiar todos los canales activos. Se puede hacer que los laterales crucen los muros para permitir la limpieza del sistema de drenado inferior y ayudar a la ventilación del filtro.

A causa de que el aire caliente y húmedo es más ligero que el aire frío seco, el aire en los filtros goteadores se mueve generalmente hacia arriba a través de ellos en la mayor parte del tiempo, el aire se sumerge a través de los filtros rociadores cuando el aire exterior se encuentra a una temperatura superior a la de las aguas residuales (2.0° C) o más; se eleva por el interior de los filtros cuando el aire externo es más frío que la temperatura de las aguas residuales o difiere de ellas en menos de 2.0°C. Para protección contra el frío externo, o para evitar molestias por olores o moscas, los filtros se pueden cubrir, además de instalar una ventilación forzada.

Los filtros se encuentran generalmente circundados por muros de concreto reforzado, que se pueden elevar bastante sobre el nivel del lecho para actuar como guardavientos y deben ser

ANEXO B

suficientemente resistentes e impermeables, y deben existir compuertas o cierres sobre los canales terminales de drenado para obstruirlos, y vertederos al nivel del lecho para evitar posibles derrames. (Fair; 1976).

2.0) LODOS ACTIVADOS

En este proceso, se crean poblaciones biológicamente activas, que son capaces de adsorber la materia orgánica de las aguas residuales y convertirla por un sistema de oxidación, por enzimas, en productos finales simples como bióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), nitratos (NO₃) y sulfatos (SO₄).

Los lodos biológicos que se desarrollan naturalmente en las aguas residuales sometidas a aireación contienen una parte considerable de materia en estado coloidal y en suspensión pero, para llevar a cabo una eliminación eficiente de los sólidos orgánicos disueltos, debe de haber una alta concentración de flóculos y obtener así una amplia superficie de contacto para las rápidas reacciones biológicas.

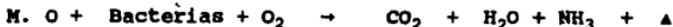
Los flóculos (masas de zoogleas) son masas de organismos, alimentos y lodos y son centros muy activos de vida biológica, que requieren de alimento y oxígeno en un ambiente rigurosamente controlado, de aquí el término de lodos activados.

Se modifica el rendimiento, controlando el periodo de contacto o la concentración del flóculo activado. dicho periodo de puede regularse por un cuidadoso diseño del sistema hidráulico de los depósitos de aireación; el tiempo medio de aireación es de 6 a 24 horas para diferentes aguas residuales industriales.

Se obtiene la concentración conveniente de flóculos activos recirculando un volumen determinado de lodos secundarios precipitados, normalmente alrededor del 20%.

Si hay una mayor cantidad de lodos, se produce una mayor eliminación de la DBO y debe incrementarse la aportación de aire y alimentos (materia orgánica) para el adecuado balance, para que la actividad en el proceso de lodos activados sea óptima, se requiere un lodo joven que flocule bien. (Nemerow; 1977).

En el proceso de fangos o lodos activados, la velocidad de la acción bacteriana se ve aumentada haciendo entrar en intimo contacto aire y fango con bacterias, con el efluente de tratamiento primario. Aguas residuales, aire y cieno activado, permanecen en contacto varias horas en la cisterna de aireación. Durante este tiempo, los residuos orgánicos se degradan por la acción bacteriana, de acuerdo a la siguiente reacción:



ANEXO B

Se ha introducido una mejora empleando oxígeno puro en vez de aire. Desde hace mucho tiempo se sabe que pueden mantenerse más bacterias en un espacio más reducido bombeando menos aire (oxígeno), si se emplea oxígeno puro. Desde la unidad de aireación el efluente fluye hacia una cuba de sedimentación secundaria, donde se recoge el fango biológicamente activo. Parte del mismo se emplea para sembrar la próxima carga de residuos procedentes de las cubas de sedimentación primaria. Este reciclaje del fango es esencial, sin él no habría suficiente actividad biológica en la unidad de aireación.

El efluente que procede de la cuba de sedimentación secundaria puede verse en las aguas naturales, o ser enviado al tratamiento terciario.

Las unidades estructurales necesarias para este contacto suspendido son: tanques y canales de terminación con tanques de sedimentación anexos a través de los cuales pasa todo el flujo, y, canales y fosas que cierran o retornan sobre sí mismos y que pueden descargar sus efluentes a través de unidades sedimentarias separadas. Los requerimientos de oxígeno se suplen por adsorción del aire, la que se origina en la atmósfera superior o en el aire comprimido inyectado a las aguas residuales que fluyen. (Fair; 1976).

Este es un proceso biológico de contacto, en el que los microorganismos aeróbios y los sólidos orgánicos de las aguas residuales, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas residuales, la eficiencia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento.

Se emplea generalmente después de la sedimentación primaria.

Las aguas residuales contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados, los cuales están formados por flóculos parduzcos que consisten, principalmente, en materia orgánica, poblados por bacterias miriadas y otras formas de vida.

Estos lodos, tienen la propiedad de absorber o adsorber el MO coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. La generación de sólidos activados o flóculos es un proceso lento, de manera que la cantidad así formada en cualquier volumen de aguas negras, durante su periodo de tratamiento es muy corto e inadecuado para tratar rápida y eficazmente las aguas residuales, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados, que se logra recolectando los lodos producidos por cada volumen de aguas residuales tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas residuales.

ANEXO B

Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como lodos recirculados. Este es un proceso acumulativo por el que, eventualmente, se producirá mayor cantidad de lodos activados de los que se requieren. La excesiva acumulación o exceso de lodos activados se retira continuamente del proceso de tratamiento y se acondiciona para su disposición final.

El proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- Mezclado de los lodos activados con las aguas residuales que se van a tratar.
- Aireación o agitación de este licor mezclado durante el tiempo necesario.
- Separación de los lodos activados del licor mezclado.
- Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con otras aguas residuales.
- Disposición del exceso de lodos activados. (Falcón; 1989).

Las plantas de esta clase se diseñan generalmente para efectuar una remoción próxima al 90% de DBO de las aguas residuales influentes o del efluente del tanque primario que llega a las unidades secundarias de tratamiento biológico. Los valores comunes de diseño para plantas sin unidades de reaireación son:

- 1) Una carga de la DBO de 22.7 kg o menos por 45.4 kg de sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM).
- 2) Requerimientos de aire de 500 a 700 pie³/lb de DBO removida cuando la carga de DBO no exceda de 22.7kg/45.4 de SSLM.
- 3) El retorno de los lodos activados tiene un volumen suficiente para mantener una concentración de SSLM de 2,000 a 2,500 mg/l; y una concentración de lodos retornados no mayor de 100 a 120 en relación con el índice de volumen de lodos,

Estas relaciones interdependientes implican generalmente la provisión de 4 a 8 hrs de aireación con 25% de retorno de lodos, un suministro de aire de 1/2 a 2 pies³/galón de aguas residuales, y un desecho de lodos de 5,000 a 10,000 gal/mg de aguas residuales. (Fair; 1976).

Debido a que este sistema se ha preservado con pocos cambios en las plantas de tratamiento tanto nuevas como antiguas, se le ha denominado como Método Convencional de Lodos Activados. En cierto sentido, ésta es una distinción sin una diferencia. Sin embargo, los diseños y operaciones modificados se pueden clasificar en forma útil de acuerdo con el proceso nutricional que se promueve, con su hidráulica y con los métodos de obtención, o de acuerdo con las construcciones y accesorios en que se realiza el proceso. (Fair; 1976).

ANEXO B

PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

Los lodos activados se recirculan en una proporción que mantenga un contenido de sólidos de 1,000 a 2,500 ppm en el licor mezclado. El índice de lodos y su edad, caerán dentro de los límites de 100 a 200 y de 3 a 4 días respectivamente.

Se puede esperar una eficiencia global de la planta de 80 a 95%, medida por el abatimiento de la DBO y de los sólidos suspendidos. El proceso convencional de lodos activados es capaz de llevar a cabo el mayor grado de purificación, es complejo y presenta muchos problemas técnicos, puede adaptarse para tratar aguas residuales y desechos de muy diversas concentraciones y composiciones, es muy sensible a cargas repentinas y a sustancias tóxicas que pueden destruir o inhibir la actividad bacteriana. (Falcón; 1989).

Algunas modificaciones se describen a continuación:

2.1) AIREACION ESCALONADA:

En este proceso, las aguas residuales entran al tanque de aireación por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada con o sin una porción de aguas residuales. Por lo tanto, la concentración de los sólidos de los lodos en el licor mezclado, es mayor en la primera etapa o lugar de entrada y disminuye a medida que se introducen más aguas residuales en las etapas subsiguientes. Esto permite que se pueda regular con facilidad la cantidad de sólidos que se mantienen en aireación. En este proceso se puede lograr un tratamiento que sea prácticamente equivalente al del proceso convencional de lodos activados en casi la mitad del tiempo de aireación, si se mantiene la edad de los lodos dentro de los límites adecuados de 3 a 4 días. (Falcón; 1989).

2.2) AIREACION GRADUADA:

En este proceso, la proporción de aire que se introduce en las aguas negras es mayor en la sección de entrada del tanque de aireación que en las secciones subsecuentes, para satisfacer aproximadamente la utilización de oxígeno en las diversas secciones o etapas de aireación en el tanque. (Falcón; 1989).

ANEXO B

2.3) AIREACION MODIFICADA:

También se conoce como tratamiento intensivo con lodos activados.

Es aplicable cuando las aguas receptoras requieren un mayor grado de tratamiento que el que se logra mediante el tratamiento primario, pero no mayores abatimientos de la DBO y sólidos suspendidos que el obtenido por el método convencional.

En este proceso, las aguas residuales, ya sean crudas o sedimentadas se mezclan con cerca del 10% de lodos de recirculación y se airean durante un periodo de 1 o 2 horas. Los sólidos suspendidos del licor mezclado disminuyen así a menos de 1,000 ppm, lo cual hace que sean menores los requerimientos de aire. Los lodos obtenidos son densos y más parecidos a los de un tanque primario y no están expuestos al abultamiento. (Falcón; 1989).

2.4) AIREACION ACTIVADA:

Es un método convencional por etapas, con un menor periodo de aireación. El cultivo que se produce en la sección de lodos activados y que generalmente se desperdicia como exceso de lodos, se pasa a una sección de aireación activada que resive también una porción del gasto de aguas residuales sedimentadas.

En la sección de aireación activada, se airea la porción de aguas residuales sedimentadas que se enviaron ahí, con una baja concentración de sólidos de unas 200 a 400 ppm.

Se destinan tanques de sedimentación final para ambas secciones llenando a dar los efluentes a las aguas receptoras. Con este método se pueden lograr abatimientos de la DBO de 80 a 85%, así como ahorros en costo del aire. (Falcón; 1989).

2.5) ESTABILIZACION POR CONTACTO:

En este método, los lodos biológicamente activos se ponen en contacto íntimo con las aguas residuales durante 15 a 30 min., tiempo durante el cual los lodos activados absorben un gran porcentaje de la materia contaminante suspendida, coloidal y disuelta, de las aguas residuales. Entonces fluye la mezcla al tanque de sedimentación donde se separan los lodos y se pasan a un tanque regenerador en el que se estabilizan y regeneran por aireación. Esta modificación es aplicable en el tratamiento de desechos industriales. (Falcón; 1989).

Este proceso reconoce la importancia de la transferencia y potencialidad operacional de los primeros 20 a 40 minutos de aireación. En concordancia, separa los lodos sedimentables de las aguas residuales al final de este periodo y continúa la asimilación de los compuestos orgánicos solubles en una segunda

ANEXO B

unidad de aireación, a la que se puede agregar el sobrenadante de los digestores como nutriente. Los lodos de esa sola unidad se retornan generalmente a las aguas residuales entrantes. (Fair; 1976)

2.6) DIGESTION AEROBIA:

El flujo se hace pasar a través de un par de tanques de aireación y sedimentación en serie. Los lodos se retornan o se desechan en cada etapa, o el exceso de lodos de una etapa se recircula a la otra. En esta forma, se puede aprovechar con la mejor ventaja, la calidad de ambos lodos. El proceso ofrece la opción física de la estabilización por contacto. (Fair; 1976).

En este proceso, se airea vigorosamente un flujo continuo de aguas con sus sólidos macerados, en el tanque diseñado para retener el flujo de un día. Después pasan las aguas residuales aireadas a un tanque de sedimentación convencional para un doble objetivo: el efluente clarificado se derrama en las aguas receptoras y los lodos sedimentados se recirculan rápidamente al compartimiento de aireación. Este proceso se aplica en plantas relativamente chicas. (Falcón; 1989).

2.7) DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA DE AIREACIÓN EN ETAPAS.

Mediante la introducción de las aguas residuales en forma uniforme o en una serie de incrementos de aireación que de otra forma serían convencionales, se distribuye la carga orgánica sobre el rango de operación de la unidad y se suprimen los efectos de las fluctuaciones en la calidad del influente y de los lodos. Los nutrientes sostienen la población bacteriana más uniformemente, las demandas y requerimientos de oxígeno decrecen a una gama más estrecha y se logra una aproximación a la operación en estado estable, así como a las condiciones isotrópicas o al mezclado completo. (Fair; 1976).

2.8) ISOTROFISMO O IGUALACIÓN DE LOS NUTRIENTES MEDIANTE MEZCLADO COMPLETO.

Este proceso introduce una igualdad operacional en los canales largos de aireación mediante la elaboración adicional del proceso de distribución de las cargas. (Fair; 1976).

2.9) OPERACION A ALTA VELOCIDAD.

La base de este proceso consiste en un tratamiento parcial o en un grado intermedio de tratamiento. La aireación en periodo corto se combina ya sea con el licor mezclado diluido a una concentración de 650 mg/l, o bien, con un licor mezclado de muy

ANEXO B

alta concentración. En el primer caso, la relación de alimento a microorganismos es alta; en el segundo, relativamente baja. Sin embargo, las velocidades de asimilación del alimento pueden ser esencialmente las mismas. Los arreglos físicos son simplificados, pero muy similares desde otros puntos de vista. (Fair; 1976).

2.10) AIREACIÓN EXTENDIDA.

Consiste en que la estabilización de los lodos que se van a desechar se obtiene por endogenia. (Fair; 1976).

Las unidades de aireación se construyen bajo la forma de canales largos de aireación con intenso mezclado transversal y algún mezclado longitudinal, o como tanques circulares o cuadrados con un mezclado esencialmente completo.

Los tanques largos se han empleado primordialmente para el tratamiento de volúmenes grandes de aguas residuales; los tanques circulares y cuadrados principalmente en plantas pequeñas de tratamiento y para explotar dispositivos mecánicos de aireación. Individualmente, el desplazamiento longitudinal idealizado del licor mezclado en los tanques largos se tomó la diferenciación zonal de la purificación que tiene lugar en las aguas receptoras y en los filtros goteadores.

Para este fin, el mezclado longitudinal se redujo intencionalmente, durante un tiempo, mediante la construcción de mamparas transversales con grandes bocas en el fondo.

(Fair; 1976).

2.11) AIREACION POR CONTACTO:

Consiste en tanques que contienen cierto número de placas delgadas de diversos materiales como láminas corrugadas de aluminio o de asbesto. Que van suspendidas verticalmente y espaciadas de 2.5 a 4.0 cm de centro a centro. Las aguas negras llegan al tanque por el fondo y pasan hacia arriba, entre las placas, mezcladas por un sistema difusor de aire que hay en el fondo.

Las acumulaciones de sólidos orgánicos son desprendidas continuamente de las placas. Las de la primera etapa de aireación se eliminan en los tanques de sedimentación intermedia y las de la segunda etapa en el tanque de sedimentación final. El sistema es bastante rudimentario y puede abatir la DBO y eliminar sólidos suspendidos en un 90% o más. (Falcón; 1989).

Entre los filtros goteadores y los lodos activados existe una diferencia operacional.

ANEXO B

En los filtros goteadores, los microorganismos están adheridos al medio filtrante y hacia ellos va el material orgánico. en cambio, con los lodos activados son los organismos los que llegan hasta la materia orgánica de las aguas residuales. (Falcón; 1989).

3.0) FILTROS DE ARENA INTERMITENTES:

Es un lecho de arena especialmente preparado en el que pueden aplicarse intermitentes efluentes del tratamiento primario o de los filtros goteadores o de los tanques de sedimentación secundaria, usando distribuidores en forma de colectores o de tubos perforados.

El lecho del filtro está formado por una capa de arena limpia de 60 cm de espesor, como mínimo, colocada sobre grava limpia graduada. La grava debe colocarse en tres capas como mínimo, cubriendo los colectores y hasta una altura de 15 cm por encima de los mismos. La arena deberá tener un tamaño de 0.3 a 0.6 mm y un coeficiente de uniformidad no mayor de 3.5. El espaciamiento de los colectores no debe exceder de 3 m entre centro y centro.

Con éste método puede esperarse una eliminación global del 95% de la DBO o más, así como los sólidos suspendidos. Requiere grandes superficies de terreno y es muy costoso. (Falcón; 1989).

4.0) FOSAS DE OXIDACION

Esta variante de las unidades de lodos activados se manifiesta en forma de construcciones autosuficientes para la aireación extendida de las aguas residuales.

La fosa más simple consiste en un canal continuo airado mecánicamente. Las aguas residuales crudas se vierten directamente. Se dispersan rápidamente en una mezcla de aguas residuales y lodos, y circulan con ellos a través de la fosa, una velocidad de desplazamiento aproximadamente de 1 ppm mantiene a los microorganismos en suspensión. El rotor es una modificación del aireador en cepillos de Kessner, pero corre a través del canal en vez de a lo largo de sus lados.

En las fosas diseñadas para una operación cíclica, las profundidades se encuentran entre 0.914 a 1.524 m; y los periodos de retención se extienden de 1 a 3 días. No se extrae efluente hasta que el nivel de agua en el canal llega al nivel máximo de operación. se corta entonces el efluente, el rotor se detiene, se opermiten una o dos horas de reposo para que los sólidos se sedimenten, el sobrenadante clarificado se extrae mediante un canal para el efluente, y el exceso de lodos, si se desea, se levanta de una sección de la fosa a los lechos de secado.

ANEXO B

Debido a que los sólidos se estabilizan bien durante el largo periodo de aireación, ya no son putrescibles y se deshidratan con facilidad. La operación cíclica puede dar lugar a una operación continua mediante la adición de un tanque de sedimentación del cual se retornan a la fosa cantidades útiles de lodos.

Dependiendo del clima, el exceso de lodos se puede secar sobre lechos de arena con un área de 0.093 a 0.279 m² por persona. El hecho de que los lodos se encuentren bien estabilizados puede permitir que se descargen a las aguas receptoras junto con el efluente.

Generalmente, los requerimientos de área para las fosas de oxidación son menores que para las lagunas de oxidación. (Fair; 1976).

5.0) LAGUNAS DE OXIDACION:

La estabilización y oxidación de los residuos en las lagunas es el resultado de muchos fenómenos naturales de autopurificación. La primera fase es la sedimentación, los sólidos precipitables se depositan en las lagunas en una zona, alrededor de la entrada, el tamaño de esta zona depende de la forma en que llega el vertido y la ubicación de la entrada.

Parte de la materia en suspensión y coloidal se precipita por la acción de las sales solubles; la descomposición por los microorganismos del sedimento que se produce, transforma los lodos en residuos inertes y sustancias orgánicas solubles, que, a su vez, son necesarias por otros microorganismos y lagas, para sus procesos metabólicos.

La descomposición de la materia orgánica es la labor de los microorganismos aeróbicos o anaeróbicos, cuando la carga de contaminación es excesivamente alta o son lo suficientemente profundas para no tener oxígeno cerca del fondo, se pueden encontrar ambos tipos de microorganismos descomponiendo activamente la materia orgánica al mismo tiempo.

Un tercer tipo de organismos, facultativos, son capaces de vivir bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y colaboran en la descomposición del vertido en la zona de transición entre las condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Es conveniente mantener condiciones aeróbicas puesto que los microorganismos aeróbicos causan la oxidación más completa de la materia orgánica. La función de las algas es de gran importancia, puesto que completan el ciclo natural de plantas y animales. Ya sean de estación o perenes, utilizan CO₂, sulfatos, nitratos, fosfatos, agua y luz solar para sintetizar su alimento y producir oxígeno, Este oxígeno disuelto en el agua se utiliza por las bacterias y otros microorganismos para sus propios procesos metabólicos entre los que están la respiración y la degradación del material orgánico en la laguna.

ANEXO B

El ciclo se puede resumir de la siguiente manera:

- Los microorganismos utilizan el oxígeno disuelto en el agua para incorporarlo a su metabolismo.
- Destruyen los materiales orgánicos para producir productos como bióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), nitratos (NO_3), sulfatos (SO_4) y fosfatos (PO_4).
- Las algas incorporan estos productos como materia prima en el proceso de la fotosíntesis.
- Del producto final de la fotosíntesis se produce oxígeno el cual es liberado para ser utilizado nuevamente por los microorganismos. (Nemerow; 1977).

En este método, el proceso de la descomposición de la materia orgánica se verifica en dos etapas: La materia carbonosa de las aguas residuales es primero desintegrada por los microorganismos aeróbicos, con formación de Bióxido de Carbono (CO_2), el cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. En este proceso, el oxígeno del CO_2 es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas. Como resultado de esto la materia orgánica sirve de alimento para las algas, para aumentar la población de éstas. Y pueden descargarse a las aguas receptoras sin causar efectos deletéreos.

La mayoría de los estanques tienen una profundidad de 60 a 120 m con flujo continuo a través de ellos, el suelo debe ser prácticamente impermeable para evitar infiltraciones. Estos tanques son de construcción barata y requieren un mínimo de operación. (Falcón; 1989)

Son estructuras sencillas de tierra, abiertas al sol y al aire, los cuales constituyen los recursos naturales a que pueden recurrir para lograr su misión. Pueden adquirir una de las siguientes formas:

5.1) LAGUNAS AEROBICAS.

En la que las sustancias degradables suspendidas y disueltas se estabilizan por las poblaciones aeróbicas microbianas antecedidas del oxígeno necesario mediante la fotosíntesis de las algas, así como por la transferencia de gas en la superficie de la laguna, algunas veces con el soporte de aireación mecánica o diluida.

5.2) LAGUNAS ANAEROBICAS.

En la que las sustancias degradables se estabilizan por poblaciones anaeróbicas en ausencia de oxígeno disuelto.

ANEXO B

5.3) LAGUNAS HETERO - AEROBICAS.

En la que las sustancias se estabilizan por poblaciones facultativas, debido a cambios cíclicos de condiciones aeróbicas y anaeróbicas, como los cambios diurnos y estacionales de la fotosíntesis.

La vida de las plantas y animales es especialmente rica y variada en la lagunas aeróbicas con lodos bentales parcialmente anaeróbicos. Excepto por las reducciones en el espesor de los depósitos con las distancias crecientes a partir del punto de ingreso del influente, la ecología de las lagunas cambia primordialmente con la carga y con la profundidad en respuesta a la precipitación de compuestos animados así como inanimados y como resultado de los intercambios de los productos del metabolismo entre las poblaciones dominantes.

Los sólidos sedimentables se precipitan cerca del punto de influencia para ser atacados. en primer lugar dentro del medio bental, por las bacterias formadoras de ácidos, en estrecha concordancia con la digestión anaeróbica.

Los ácidos orgánicos producidos por ellas se transfieren no solo a las bacterias formadoras de metano dentro del mismo ambiente, sino también a las algas que existen en las aguas sobrenadantes.

La gasificación anaeróbica coincidente desprende CO_2 a las aguas y algas, y CH_4 por vía del líquido sobrenadante a la atmósfera.

Las células de algas muertas se sedimentan en el fondo de la laguna y se descomponen. Simultáneamente, además, los nutrientes orgánicos disueltos del influente son empleados por las bacterias aeróbicas en las aguas sobrenadantes.

La biomasa resultantes dependen del oxígeno suministrado por las algas durante la fotosíntesis y, en forma recíproca, suplen CO_2 , fosfatos solubles y NH_3 para crecimientos posteriores de las algas.

Los procesos de diseño para las lagunas de estabilización son imprecisos, al mismo tiempo se encuentran relacionadas a operaciones como las de oxidación, sedimentación y digestión, intercambio de gases y fotosíntesis, aireación mecánica, evaporación y transmisión. Los factores determinantes de la velocidad que se consideran son:

- El tiempo de retención, que se mide en días generalmente.
- La profundidad de la laguna, que generalmente es pequeña, de 0.915 a 1.524 m.
- La carga aplicada a la laguna, expresada en libras de DBO a cinco días y $20^{\circ}C$, o como la concentración subyacente de DBO de las aguas residuales influentes.

ANEXO B

- La temperatura de la laguna, en °Fahrenheit o Centígrados.
- La energía de la luz visible, en Cal/día/cm² que llega a la superficie del agua, y
- La eficiencia de la conversión de la energía lumínica a energía química, que varía de 2 a 6% y en promedio 4%.

La eficiencia de la conversión de energía lumínica a química depende no sólo de la intensidad de la luz, sino de la calidad y concentración de los nutrientes, duración relativa de la luz diurna, temperatura del agua, grado de mezclado, periodo de retención y pH.

Las estructuras de descarga deberán permitir cambios en la profundidad conforme a las estaciones, la extracción del efluente desde niveles inferiores a la superficie, y el drenado completo de la laguna. Generalmente proveen entradas centrales para las lagunas que pierden la mayor parte de su agua por evaporación y transminación.

Para las lagunas que tienen un flujo de paso únicamente se prefieren entradas laterales con bocas múltiples. En tales casos, las salidas se colocan en el lado opuesto de la laguna. Las lagunas grandes se pueden subdividir con ventaja.

La tubería deberá permitir, de preferencia, la rotación del flujo a través de las lagunas sucesivas. La parte superior del dique divisorio deberá ser suficientemente ancho para dar acomodo a los vehículos de mantenimiento.

Deberán estar cercadas para evitar el paso de ganado y de transgresores no advertidos. se deberá destruir la vegetación que brote y no tolerarse la crianza de mosquitos.

Lagunas anaeróbicas.

Tienen generalmente una profundidad de 1.82 a 3.048 m, el compartimiento deseado es el mismo que en la digestión de lodos y se asegura mediante medios similares, ya que esto se puede conseguir en las simples estructuras que se emplean.

Para controlar olores objetables, se deben mantener las lagunas en condiciones alcalinas. En éstos casos, el ácido sulfhídrico permanece en solución como ion sulfhidrato, HS⁻.

Generalmente, los efluentes de la laguna se tratan en forma aeróbica antes de descargarlos a las aguas receptoras. Las cargas y los periodos de retención varían ampliamente. Los olores en las lagunas aeróbicas secundarias se mantienen bajo control mediante periodos anaeróbicos de retención de 1 o 2 días. (Fair; 1976).

ANEXO B

Lagunas aireadas mecánicamente.

Se aproximan a las fosas de oxidación, y por lo tanto, a las unidades de lodos activados con aireación extendida.

El equipo incluye: aireadores superficiales instalados en posiciones fijas o colocados sobre flotadores, turbomezcladores mecánicos con borboteadores de aire difundido, y sistemas de difusión del aire comprimido. se puede tener un tubo de polietileno de peso ligero con válvulas unidireccionales no sujetas a obstrucción en el fondo en forma reticular.

El mezclado no es tan intenso como en los tanques de lodos activados, y los sólidos se depositan y descomponen en algunos lugares aislados. Sin embargo, los periodos de retención son, por lo general, de una extensión suficiente para permitir la degradación de los depósitos de fondo con un impacto pequeño sobre el proceso aeróbico principal. (Fair; 1976).

ANEXO B

MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Con la excepción de ciertos desechos industriales, las aguas residuales proporcionan un medio de crecimiento ideal para un gran número de microorganismos, y estos juegan un papel muy importante en todas las etapas de tratamiento biológico de las aguas residuales. Los microorganismos no son capaces de utilizar la gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos existentes en el agua residual. En consecuencia, se desarrolla un ecosistema muy diverso.

La composición exacta de las comunidades que se desarrollan depende de la competencia por el suministro alimentario variado y limitado, y éstas condiciones están influidas por parámetros ambientales tales como pH y Temperatura, entre otros.

Por lo tanto, el diseño efectivo de los tratamientos biológicos, requiere una investigación de los tipos de microorganismos que se requieren para cada proceso y las condiciones ambientales bajo las cuales muestran su potencial máximo de crecimiento.

Los phyla más importantes en la purificación de las aguas residuales son: Bacterias, hongos, algas y protozoarios, aunque también y en menor cantidad rotíferos y nemátodos.

Los organismos que se han observado en los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales, se presentan en los siguientes cuadros de acuerdo al phylum y género.

En estas tablas se encontrarán algunos organismos dentro de un phylum al que quizá no pertenece, los investigadores aún no se han puesto de acuerdo en su clasificación, pero debido a sus características que presentan se ubican dentro de estos phyla.

ANEXO B

MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

BACTERIAS

<i>Acinetobacter</i>	<i>Cytophaga</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Achromobacter</i>	<i>Debaromyces</i>	<i>Nostocoida</i>
<i>Aereobacter</i>	<i>Desulforomonas</i>	<i>Propionibacterium</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Desulfotomaculum</i>	<i>Pseudomona</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Desulfovibrio</i>	<i>Sarcina</i>
<i>Bacteroides</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Sphaerotilus</i>
<i>Beggiatoa</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Staphylococcus</i>
<i>Brevibacterium</i>	<i>Haliscomenobacter</i>	<i>Streptococcus</i>
<i>Caulobacter</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Thiothrix</i>
<i>Clostridium</i>	<i>Microthix</i>	<i>Vibrio</i>
<i>Comomonas</i>	<i>Nitrobacter</i>	<i>Zooglea</i>
	<i>Nitrosomonas</i>	

HONGOS

<i>Geotrichium</i>	<i>Sporotrichum</i>	<i>Trichosporon</i>	<i>Zoopagus</i>
--------------------	---------------------	---------------------	-----------------

ALGAS

<i>Anabaena</i>	<i>Iris</i>	<i>Pyrobotrys</i>
<i>Azolla</i>	<i>Lemna</i>	<i>Salvenia</i>
<i>Bodo</i>	<i>Ludwigia</i>	<i>Scenedesmus</i>
<i>Ceratophyllum</i>	<i>Najas</i>	<i>Scirpus</i>
<i>Cladophora</i>	<i>Navicula</i>	<i>Spirodela</i>
<i>Chlamydomona</i>	<i>Oicomonas</i>	<i>Spirulina</i>
<i>Chlorella</i>	<i>Oocystis</i>	<i>Stigeoclonium</i>
<i>Chlorogonium</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Typha</i>
<i>Eichhornia</i>	<i>Phacus</i>	<i>Ulothrix</i>
<i>Elodea</i>	<i>Phormidium</i>	<i>Volvox</i>
<i>Euglena</i>	<i>Phragmites</i>	<i>Wolffia</i>
<i>Hydrodictyon</i>	<i>Potamogeton</i>	<i>Wolffiella</i>

PROTOZOARIOS

<i>Acineta</i>	<i>Colpidium</i>	<i>Loxophyllum</i>
<i>Amoeba</i>	<i>Colpoda</i>	<i>Oicomonas</i>
<i>Arcella</i>	<i>Drepanomonas</i>	<i>Opercularia</i>
<i>Aspidisca</i>	<i>Epistylis</i>	<i>Paramecium</i>
<i>Carchesium</i>	<i>Euglypha</i>	<i>Peranema</i>
<i>Chaenea</i>	<i>Euplotes</i>	<i>Podophyra</i>
<i>Chillodonella</i>	<i>Hemiophrys</i>	<i>Trachelophyllum</i>
<i>Cochiopodium</i>	<i>Litonotus</i>	<i>Vorticella</i>

(Horam; 1990)

ANEXO B

D) TRATAMIENTO TERCIARIO

Después del tratamiento secundario permanecen en el agua pequeñas concentraciones de sustancias orgánicas disueltas, que crean problemas de olor y sabor, lo que es más importante, revisten la mayor importancia desde el punto de vista toxicológico. La técnica más empleada para la eliminación de estos contaminantes es la adsorción sobre carbón activado.

En este apartado se verán además de este sistema, otros un poco más complejos.

Las operaciones y procesos unitarios aplicados al tratamiento avanzado del agua residual se clasifican en: 1) físicos, 2) químicos y 3) biológicos.

La selección de una operación o proceso, o una combinación de ambos, depende de: el uso a efectuar con el efluente tratado, la naturaleza del agua residual, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles para la evacuación de los contaminantes finales y, la posibilidad económica de las distintas combinaciones. (Metcalf y Eddy; 1981).

D.1) OPERACIONES FISICAS UNITARIAS.

1.0) Separaciones del amoníaco por arrastre con aire (air stripping)

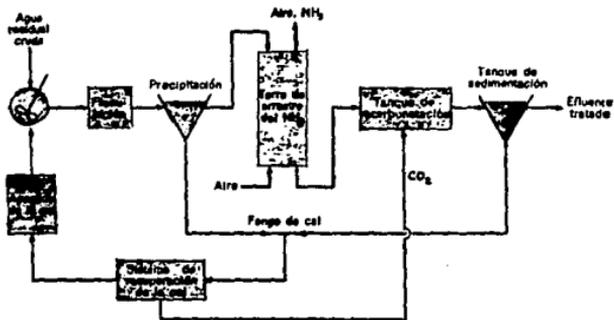
El arrastre con aire del amoníaco es una modificación del proceso de aireación utilizado para la eliminación de gases disueltos en el agua. Los iones amonio se encuentran en el agua residual en equilibrio con el amoníaco, tal como lo muestra la siguiente reacción:



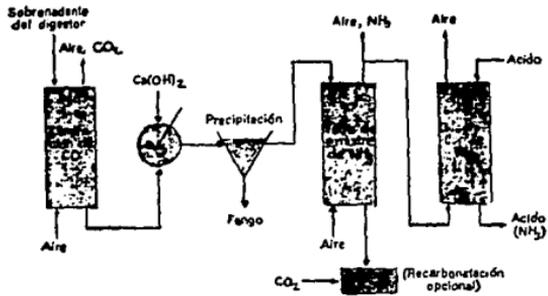
Cuando el pH del agua residual aumenta por encima de 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, y el ion amonio se convierte en amoníaco, el cual puede extraerse como un gas agitando el agua residual en presencia de aire. Esto suele conseguirse en una torre de arrastre equipado con una soplante de aire.

En el diagrama 4.0 se añade cal al agua residual sin tratar para precipitar el fósforo. El agua residual sedimentada se pasa seguidamente a través de una torre de arrastre de amoníaco a contracorriente. También se incluye un sistema de recuperación de cal. (Metcalf y Eddy; 1981).

DIAGRAMA 4.0



ARRASTRE CON AIRE.



Metcalf & Eddy; 1981; 677-678.

ANEXO B

2.0) FILTRACION

Se usa para preparar el agua residual para procesos de tratamiento posteriores o para su utilización directa como agua con un grado de clarificación muy elevado. Puede aplicarse directamente al efluente de planta de un tratamiento biológico, o a continuación del proceso coagulación - sedimentación, según el grado de clarificación requerido (Metcalf y Eddy; 1981).

La filtración consiste en pasar el flujo a través de una membrana o lecho filtrante que sólo permite el paso del agua y no el de las partículas.

Generalmente se utilizan dos tipos de filtros: filtro rápido de arena y filtro lento de arena. Figura 4.0.

El filtro rápido de arena, se compone de una capa de arena clasificada, o en algunos casos de un medio filtrante grueso (por ejemplo: antracita), colocada encima de una capa de arena, a través de la cual se filtra el agua a velocidades más altas; el filtro se limpia con agua (Schulz; 1990).

Los filtros rápidos se pueden clasificar de varias maneras: De acuerdo a las siguientes características:

- 1) Al tipo de medio filtrante empleado,
- 2) A la dirección del flujo a través del lecho,
- 3) Al tipo de sistema de control de velocidad, y
- 4) Al tipo de fuerza impulsora.

2.1) TIPO DE MEDIO FILTRANTE

Se basa en el número de capas de lechos filtrantes como: Simples, Dobles y Múltiples.

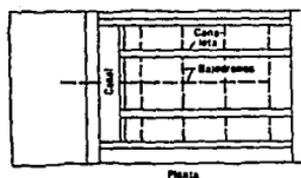
En los tres casos, la filtración se efectúa en dirección descendente, la limpieza de éstos filtros se lleva a cabo utilizando un filtro de agua en sentido contrario, lo que generalmente provoca que la distribución de los tamaños de los gránulos de cada medio, sea de los más pequeños a los más grandes, aunque en realidad la distribución de las partículas en el lecho depende de las diferencias en densidad y tamaño de los diversos medios. Los lechos dobles y múltiples se desarrollaron para permitir que las partículas suspendidas en el líquido a filtrarse, penetren a mayor profundidad en el lecho filtrante, y por lo tanto, se incrementa la capacidad de almacenamiento de partículas del filtro (Valdivia; 1989).

2.1.1) Filtros simples:

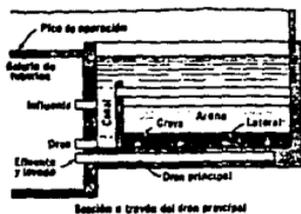
En los filtros de tierra de diatomeas el medio filtrante es una capa de tierra diatomácea formada sobre un medio poroso al recircularse una suspensión de tierra a través del medio hasta

FIGURA 4.0

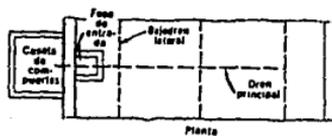
TIPOS DE FILTRACION



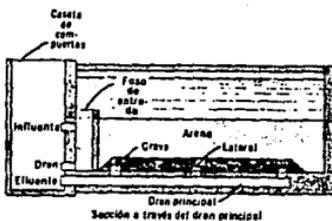
FILTRACION
RAPIDA.



Fair; 1976; 218.



FILTRACION
LENTA.



ANEXO B

formar una capa firme sobre éste. La precapa resultante se sostiene por el medio, que sirve también como sistema de drenaje. El agua se filtra a través de la precapa, a menos que el agua aplicada contenga tanta turbidez que la unidad pueda mantenerse funcionando solamente si se introduce una cantidad adicional de tierra diatomácea denominada alimentación continua o integral, al agua entrante que preserva la textura abierta de la capa.

La alimentación continua se proporciona en una relación de aproximadamente 1.25:1 sobre base seca cuando las aguas contienen limos inorgánicos. Para lamas orgánicas, la relación se eleva hasta alrededor 3:1. El filtro opera a velocidades de 2.5 a 6 gpm/pie². La torta filtrante de desecho se remueve mediante velocidades de retrolavado de 7 a 10 gpm/pie². Figura 4.1. (Fair, et al; 1989).

2.1.2) Filtros de medio doble:

Algunos filtros de medios doble que se han utilizado se componen de:

antracita - arena.

carbón activado - arena

lechos de resina - arena

lechos de resina - antracita

Los Filtros de medios múltiples se componen de:

antracita - arena - granate

carbón activado - antracita - arena

perlas de resina (cargadas y sin cargar) - antracita - arena.

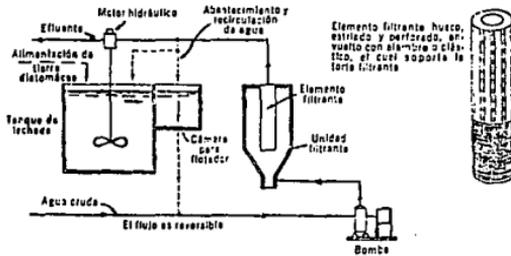
carbón activado - arena - granate. (Metclaf y Eddy; 1981).

2.2) DIRECCION DEL FLUJO

Se clasifican en filtros de circulación ascendente, descendente y de doble circulación. Figura 4.2.

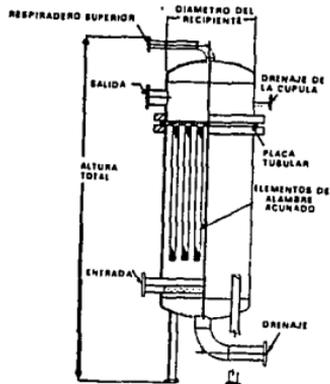
En los filtros de circulación ascendente, el flujo pasa de abajo hacia arriba a través del medio filtrante. Los estratos medios tienen material grueso en el centro y material fino en la parte superior, lo que permite que tales filtros sean más eficientes para que al fluir el líquido a través del lecho haya una mejor penetración de los sólidos suspendidos en el lecho.

FIGURA 4.1



FILTRACION POR DIATOMEAS.

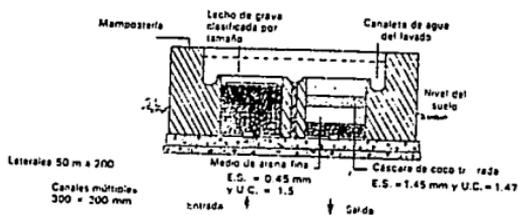
Fair; 1976; 272.



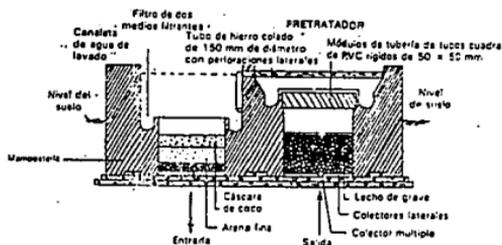
FILTRACION POR RESINA.

Kemmer; 1989; 23.

FIGURA 4.2

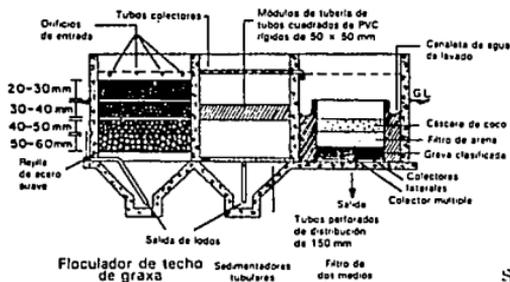


FILTRACION ASCENDENTE.



FILTRACION DESCENDENTE.

FILTRACION COMBINADA.



Schulz; 1990; 251-2.

ANEXO B

El filtro de circulación descendente, es el más común, como su nombre lo indica, el flujo va de arriba hacia abajo, aprovechando la gravedad.

El filtro de doble circulación, es una combinación de los anteriores. En el cual, el efluente se recibe a través de un colador instalado dentro del lecho del filtro, el retrolavado se obtiene con un incremento de la cantidad de fluido en el fondo del filtro.

2.3) SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD

Existen dos tipos, la filtración a tasa constante y la filtración a tasa variable. Figura 4.3.

En la filtración a tasa constante, el flujo a través del filtro se mantiene a una velocidad constante con una válvula de control del efluente que puede ser operada manual o mecánicamente. al inicio de la corrida, gran parte de la fuerza impulsora disponible se disipa en la válvula que se encuentra casi cerrada, la válvula se abre a medida que se incrementan las pérdidas.

En la filtración de gasto variable, el gasto a través del filtro se va elevando a lo largo de la corrida de filtración. Cuando se alcanza la pérdida de carga permitida se lava el filtro.

2.4) TIPO DE FUERZA IMPULSORA

La fuerza de gravedad o de la presión se aplica para vencer la resistencia por fricción que ofrece el lecho al paso del fluido.

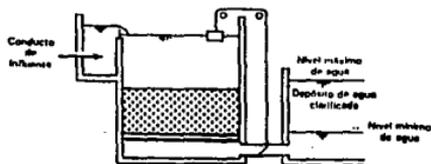
Los filtros de gravedad, son los que se emplean comúnmente para filtrar el efluente secundario de plantas de tratamiento de gran capacidad, en plantas más pequeñas se emplean filtros de presión. Estos filtros operan en forma similar que los de gravedad, pero en ellos la operación se lleva a cabo en tanques cerrados a presión que se controla por bombeo. Figura 4.4.

En principio la fuerza impulsora debe vencer la resistencia del lecho limpio y del sistema de desagüe, pero a medida que pasa el tiempo, los sólidos empiezan a acumularse en el lecho, la fuerza debe vencer además de la resistencia anterior, la resistencia que ofrece el filtro por la obstrucción de los sólidos.

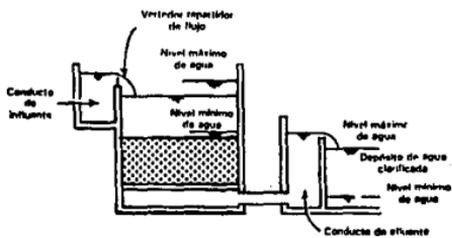
Esta resistencia es variable y por lo tanto, la tasa del flujo o gasto que depende de la resistencia del flujo y de la fuerza impulsora del líquido, varía si ésta última permanece constante (Valdivia; 1989).

El filtro lento de arena, se compone de una capa de arena fina no clasificada, a través de la cual se filtra el agua a una velocidad lenta, el filtro se limpia periódicamente raspando una delgada capa de arena sucia de la superficie a intervalos de

FIGURA 4.3

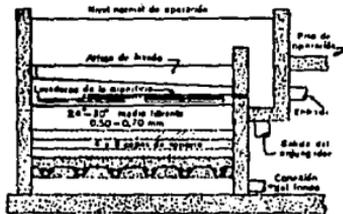


FILTRACION A TASA CONSTANTE.



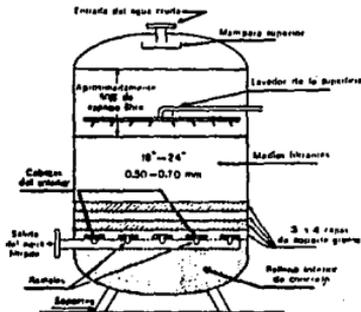
FILTRACION A TASA VARIABLE.

FIGURA 4.4



FILTRACION A GRAVEDAD.

Kommer; 1989; 9-20.



FILTRACION A PRESION.

ANEXO B

varias semanas a meses. La arena se lava y después de varias raspaduras, se regresa al filtro. La velocidad lenta de filtración permite la formación de una capa activa de microorganismos llamada schmutzdecke sobre el lecho de arena, éstos organismos descomponen la materia orgánica y llenan también los intersticios de la arena de modo que la materia sólida se retiene con bastante efectividad.

Otro tipo de filtración lenta existente, es la filtración dinámica, que consiste en un canal poco profundo, de aproximadamente 1 metro de profundidad, con un lecho de arena y un sistema de drenaje inferior similares a los convencionales.

El agua cruda fluye sobre la superficie del lecho en una capa delgada, con una profundidad aproximada de 1 a 3 cm, y en seguida sobre un vertedor hacia un canal de derrame que conduce al desagüe. Parte del caudal se percola através del lecho de arena hacia el sistema de drenaje inferior, y se transporta a un pozo de agua clarificada. (Schulz; 1990).

2.5) MICROFILTROS

Supone el uso de filtros de tambor giratorios, lavados de forma continua a contracorriente, con velocidad de giro baja y variable (de 4 a 7 rpm), que funcionan sin presión, sólo bajo la acción de la gravedad. Las telas filtrantes tienen aperturas de 23 o 35 μ m y se ajustan sobre la periferia del tambor.

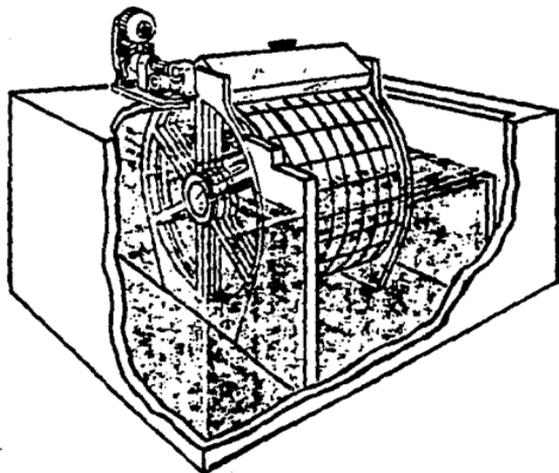
El agua residual entra por el extremo abierto del tambor y fluye hacia fuera a través de la tela filtrante giratoria. Los sólidos retenidos son empujados a contracorriente, por chorros de alta presión, hacia una piletta situada dentro del tambor en su punto más alto.

Los microfiltros se utilizan para eliminar las algas del agua en embalses antes de su tratamiento y para mejorar la calidad de los efluentes de fangos activados, algunos de los problemas con los que se tropieza en su uso son sus separaciones incompletas de sólidos y su incapacidad para hacer frente a las fluctuaciones de sólidos. La reducción de la velocidad de rotación del tambor y la limpieza menos frecuente de la tela filtrante han dado como resultado mayores eficiencias de separación a costa de rebajar su capacidad. Figura 4.5. (Fair, et al; 1989).

2.6) ULTRAFILTRACION

Este proceso emplean membranas de poro pequeño y presiones elevadas. Además requiere de diferencias de presión que exceden los 20 psig (1.4 kg cm^2). El propósito de emplear poro de tamaño pequeño es eliminar del agua coloides y ciertos materiales orgánicos de peso molecular elevado. Sin embargo, este tamaño de

FIGURA 4.5



MICROFILTRO.

Metcalf & Eddy; 1981; 685.

ANEXO B

poro hace a las membranas aún más susceptibles al atascamiento. En ciertas condiciones las membranas pueden retrolavarse con agua para resolver este problema. Las membranas pueden dañarse permanentemente por el calor o presión excesivos causando que baje drásticamente el flujo.

El carácter y la forma de la membrana es crítica respecto a los resultados obtenidos.

Para obtener velocidades eceptables de flujo de la membrana semipermeable tiene por lo común una piel extremadamente fina sobre la superficie de sustrato más poroso y más grueso. El espesor de la piel puede ser sólo de 1 a 5 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, química o por alguna combinación de ellas.

Además del posible atascamiento de las membranas, 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 del flujo. Figura 4.6. (Kemmer; 1989).

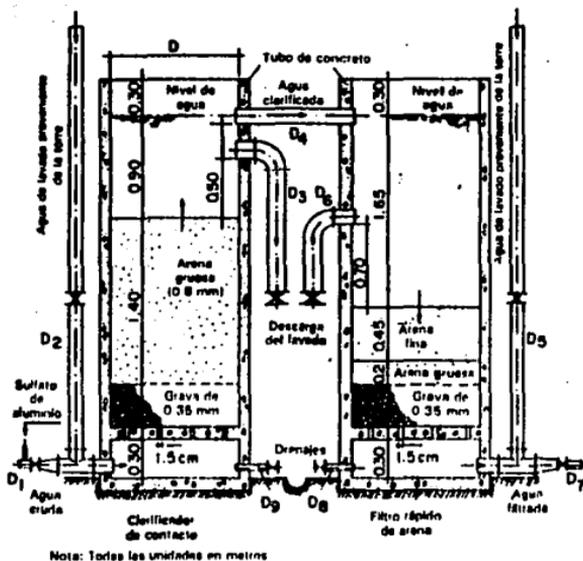
3.0) DESTILACION

Es una operación unitaria en la que los componenetes de una solución líquida son separados mediante vaporización y condensación. Si el arrastre se mantiene bajo, casi todos los contaminantes se podrán separar en una sola fase de evaporación.

Los contaminantes volátiles, tales como el gas amoniacal y ácidos orgánicos de bajo peso molecular, pueden separarse en una fase previa de evaporación, pero si su concentración fuese tan baja que su presencia no resultase perjudicial en el producto final, podría eliminarse esta fase y, con ella, su costo adicional.

La evaporación por vacío en varias fases, la evaporación de efecto múltiple y la destilación vapor - compresión parecen los más realizables para la purificación de aguas residuales. (Metcalf y Eddy; 1981).

FIGURA 4.6



ULTRAFILTRACION.

Schulz; 1990; 247.

ANEXO B

4.0) DEBGASIFICACION

Existen tres tipos de torres despuntadoras comunes que son:

4.1) Torre despuntadora empacada.

El agua se introduce por la parte superior, algunas veces mediante un tubo de rocío, y se filtra a través de un empaque contra una corriente de gas diferente al que está removiendo. es típico emplear aire como gas despuntador para remover gases disueltos como bióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno o metano.

4.2) Torre de rocío.

El agua es atomizada en un gas inerte, que es retirado continuamente a medida que el gas despuntador abandona la superficie.

4.3) Torre de difusores.

El gas despuntador se introduce en el agua a través de difusores sumergidos, sube en forma de burbujas a través del agua y acarrea el gas despuntado fuera del ambiente acuoso a la atmósfera que se halla arriba. Figura 4.7. (Kemmer; 1989).

5.0) EVAPORACION

Es grande la variedad de evaporadores, aunque la mayoría se basan en el principio de vapor que pasa por el exterior de una serie de tubos con agua o con solución acuosa confinada o recirculada, fluyendo como una película delgada sobre el interior de una superficie tubular de calentamiento. Los diferentes tipos de evaporadores se clasifican de acuerdo con la forma en que el agua es evaporada:

1) Tipo de ebullición

Son los evaporadores que calientan el agua hasta el punto de ebullición y la evaporación aplicando una fuente externa de calor.

2) Tipo instantáneo.

Son los evaporadores que sobrecalientan el agua con una fuente externa y la lanzan en forma de vapor instantánea.

3) Tipo de compresión.

Son los evaporadores que añaden energía al vapor de agua mediante compresión y la regresan al cuerpo del evaporador como fuente de calor para la ebullición.

ANEXO B

En los evaporadores del tipo de ebullición de tubo sumergido, el vapor entra al elemento tubular, hace hervir el agua, y descarga el vapor de agua de la celda de evaporación. Los elementos de calentamiento son por lo común haces de tubos de diferentes configuraciones. Estos pueden estar completamente sumergidos en el agua, parcialmente sumergidos o dispuestos de tal modo que sólo una película de agua fluya a lo largo de la superficie.

La purga regula la concentración de sólidos del líquido en ebullición. Dispositivos purificadores de vapor capturan gotitas de agua arrastrada. Esto es sobremanera importante cuando el objetivo en la evaporación, es producir un destilado de alta calidad.

El vapor purificado que sale del evaporador es condensado en diferentes modos:

- En sistemas antiguos de servicio público, el vapor es descargado a través del calentador de desaireación y condensado por el agua de alimentación de la caldera.
- Puede condensarse por medio de un condensador de superficie si la fase líquida purificada debe por alguna razón conservarse separada.
- Puede alimentarse el vapor a los tubos del cuerpo de un segundo evaporador, que puede alimentarse a una tercera, para producir un evaporador de efecto múltiple. (Kemmer; 1989).

6.0) SEPARACION DE LA FASE GASEOSA

Un método para la eliminación de amoníaco como gas es el desarrollo de membranas permeables a la fase gas. El agua residual se hace pasar a través de tubos forrados con dicho tipo de membranas, o bien, son fabricados con ellas. El gas atraviesa la membrana y permanece pegado al exterior del tubo. El gas adherido se despega inyectando aire o nitrógeno tangencialmente a lo largo de los tubos, es preciso disponer de mayor experimentación antes de poder aplicar este proceso. (Metcalf y Eddy; 1981).

7.0) CONGELACION

Es una operación de separación, similar a la destilación. El agua residual es rociada en una cámara que funciona al vacío. Parte del agua residual se evapora y el efecto refrigerante produce cristales de hielo sin contaminantes en el líquido que queda. Seguidamente se extrae hielo y se funde por el calor de la condensación de los vapores de la fase de vaporización. Se han utilizado butano y otros refrigerantes.

(Metcalf y Eddy; 1981).

ANEXO B

8.0) FLOTACION

La eliminación de la materia suspendida y coloidal finamente dividida que se halla en el agua residual tratada, puede lograrse mediante flotación. Su uso en esta y otras aplicaciones semejantes va en aumento, especialmente junto con el uso de polímeros. (Metcalf y Eddy; 1981).

9.0) FRACCIONAMIENTO DE ESPUMAS

Es la separación de la materia coloidal y suspendida por flotación y de la materia orgánica disuelta por adsorción. Cuando se burbujea aire en el agua residual se produce espuma o bien ésta es inducida por la adición de productos químicos. Como sea que la mayoría de los compuestos orgánicos solubles en agua tienen, hasta cierto punto, actividad de superficie, tienden a concentrarse en la interfase gas - líquido y se eliminan junto con la espuma. (Metcalf y Eddy; 1981).

10.0) APLICACION AL TERRENO

La evacuación al terreno ha sido ya considerada por varios investigadores. En este proceso, el agua residual se distribuye uniformemente sobre la superficie del terreno, que sirve y actúa como un filtro de tipo lento. Las partículas suspendidas se filtran, los coloides y materia orgánica son absorbidos por las partículas de tierra, los nutrientes son utilizados por la vegetación y la materia orgánica más compleja se descompone en compuestos inorgánicos simples por las bacterias del suelo.

Mediante este proceso puede recargarse un acuífero siempre y cuando el régimen de aplicación no exceda la tasa con que puedan utilizarse los nutrientes. Aplicados en exceso, los nitratos en el agua residual se desplazarán sin impedimento alguno por la mayoría de los sistemas del suelo, lo que puede acabar suponiendo la contaminación del agua subterránea. (Metcalf y Eddy; 1981).

11.0) OSMOSIS INVERSA

La ósmosis es el proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana separando una solución más fuerte de una solución más débil; el solvente fluye en la dirección que reducirá la concentración de la solución más fuerte. Pude observarse el flujo de solvente entre los compartimientos de solución a medida que aumenta el volumen del compartimiento que contiene la solución más fuerte. Sin 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 mas débil por una dimensión que iguala a la opeirón osmótica.

ANEXO B

En la ósmosis inversa, 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/cm²), y depende de las diferencias en concentración. Figura 4.8.

En promedio es alrededor de 10 psig por cada 1000 mg/l de diferencia en los STD. Las diferencias están influidas 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 poros 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 de 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. (Kemmer; 1989).

Es decir, es un proceso en el que el agua se separa de las sales disueltas en solución filtrando a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sales disueltas en el agua residual. (Metcalf y Eddy; 1981).

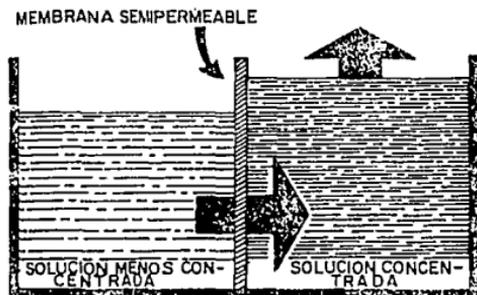
La ósmosis inversa ha recibido también el nombre de hiperfiltración, lo cual indica su relación con un proceso de filtración a presión elevada.

Sin embargo, no debe confundirse con la ultrafiltración que emplea presiones aplicadas más bajas y diferentes membranas, ya que la UF en esencia, no remueve solutos de peso molecular bajo a intermedio, mientras que la OI puede remover aún las especies iónicas de peso molecular bajo.

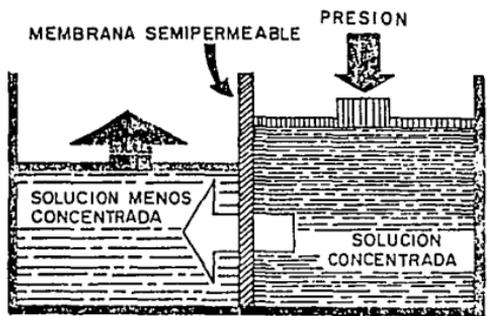
La remoción o rechazo obtenido de la sal es primordialmente una característica de la membrana semipermeable. Una membrana dada puede rechazar un ión con mayor efectividad que otro; este rechazo puede estar afectado por la presencia de otras especies iónicas en el agua que se está procesando.

En general cuanto mayor sea el flujo de agua a través de un tipo dado de membrana, tanto menor es el rechazo de la 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.

FIGURA 4.8

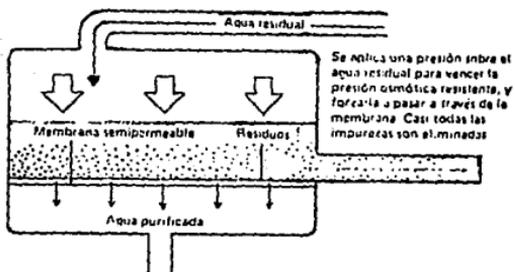


OSMOSIS NORMAL



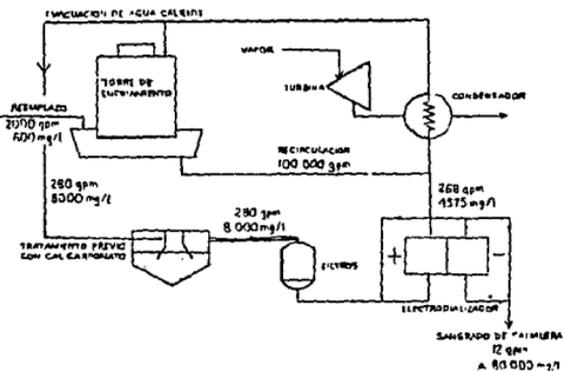
OSMOSIS INVERSA

FIGURA 4.8a



OSMOSIS INVERSA.

Kemmer; 1989: 18-3,7.



ANEXO B

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 el objeto de aprovechar las ventajas que ofrecen los diversos materiales disponibles para las membranas. (Kemmer; 1989).

La ósmosis inversa tiene sus limitaciones: Una membrana semipermeable, tal como el acetato de celulosa, es sometida a un tratamiento de temperatura que establece el ritmo con el que puede producirse agua, La materia orgánica y coloidal pueden originar (debido a la suciedad acumulada en la superficie de la membrana) elevadas pérdidas en la cantidad de agua que puede producirse.

Las sales con niveles bajos de solubilidad precipitarán sobre la membrana y reducirán la cantidad del agua producida. Con objeto de evitar estas pérdidas conviene realizar un pretratamiento del agua residual, tal como adsorción sobre carbón activado o precipitación química, seguido de alguna de las formas conocidas de filtración. (Metcalf y Eddy; 1981).

12.0) SORCION

El tratamiento convencional con sulfato de alúmina para la eliminación de fosfatos aumenta la concentración del ion sulfato en solución. La sorción es un proceso desarrollado para separar varias formas de fosfato sin aumentar la concentración de sulfato. La alúmina activada se utiliza para sorber fosfatos haciendo pasar una corriente de agua a través de la columna de sorción. La regeneración de la alúmina activada para su reutilización se logra empleando pequeñas cantidades de sosa cáustica y ácido nítrico. (Metcalf y Eddy; 1981).

ANEXO B

D.2) PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS

Como se señaló son varios los procesos químicos avanzados unitarios aplicados al tratamiento de aguas residuales. Algunos de los procesos, tales como el de precipitación química, se han aplicado tanto al agua tratada como sin tratar; otros procesos, como los de electrodiálisis y de intercambio de iones, han sido aplicados más frecuentemente a los efluentes tratados. (Metcalf y Eddy; 1981).

13.0) ADSORCION

La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a la superficie 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 distintivo es que la adsorción usa en general un sólido adsorbente procesado especialmente para el tratamiento del agua; en la coagulación y floculación, el adsorbente es producido en el lugar por la reacción química con el agua.

Los adsorbentes pueden ser materiales en forma de polvo fino, aplicados al agua en un clarificador o antes del filtro, o gránulos de 0.5 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, óxidos de magnesio, carbón de hueso y alúmina activada. También se usan resinas especiales de intercambio de iones. Figura 4.9.

(Kemmer; 1989).

Tras el tratamiento biológico, la adsorción se ha realizado en columnas de lecho fijo y expandido de carbón granulado así como en tanques que utilizan carbón en polvo.

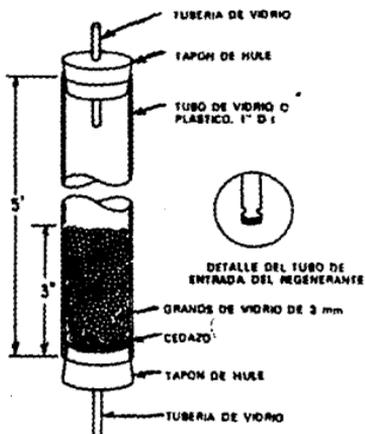
(Metcalf y Eddy; 1981).

14.0) PRECIPITACION QUIMICA

Como ya se discutió, la precipitación del fósforo en el agua residual suele conseguirse mediante la adición de coagulantes, tales como sulfato de alúmina, cal, o sales de hierro, y polielectrólitos. Se han utilizado también procesos comerciales que implican el uso de iones metálicos y polielectrólitos. La precipitación química puede llevarse a cabo en los tanques de sedimentación primaria o de fangos activados o como una operación aparte.

En la fase preliminar, la mayoría del fósforo se separa en el tanque de sedimentación primaria. El fósforo restante se elimina normalmente por asimilación en la fase de tratamiento biológico. Cuando la precipitación haya de realizarse en la fase biológica del tratamiento, suelen añadirse productos químicos al tanque de

FIGURA 4.9



ADSORCION POR LECHO DE RESINA.

Kemmer; 1989; 17-4.

ANEXO B

aireación. Los precipitados formados en el reactor biológico se separan en el tanque de sedimentación de fango activado. Figura 4.10. (Metcalf y Eddy; 1981).

Precipitación química en el tratamiento biológico.

Se ha observado que el grado de eliminación de fósforo es, en algunas plantas de fangos activados, considerablemente mayor que lo predecible en base a las necesidades del crecimiento de los organismos. Para explicar esta observación se han propuesto las dos teorías siguientes.

La primera es que la eliminación del fosfato tiene su origen en la precipitación química. Las condiciones necesarias son: 1) hidrólisis del fosfato complejo a ortofosfatos; 2) disminución de la producción de CO_2 cuando el residuo atraviesa un reactor de flujo en pistón; 3) aumento del pH debido al hecho de que se produce menos CO_2 y se elimina más por aireación, y 4) desarrollo de condiciones que favorezcan la precipitación del fosfato de calcio, condiciones que requerirá un largo reactor de flujo en pistón.

La segunda teoría es que la eliminación se logra por medios biológicos. Se cree que, en determinadas condiciones ideales, los microorganismos en el líquido mezcla del fango activado son capaces de eliminar una cantidad de fósforo en exceso de la necesaria para su crecimiento. A este fenómeno se le ha denominado "luxury uptake". No queda claro si el fósforo se incorpora dentro de la célula o es absorbido sobre las células bacterianas o si es una combinación de ambas posibilidades. (Metcalf y Eddy; 1981).

15.0) INTERCAMBIO IONICO

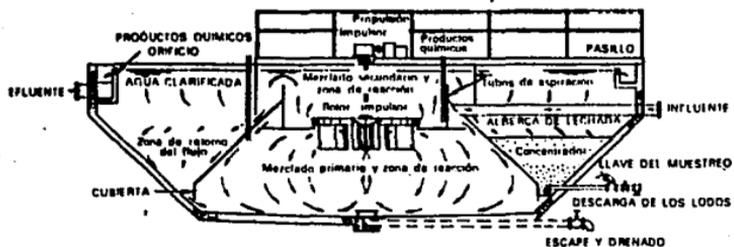
El intercambio iónico es un proceso unitario según el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio por otros iones de una especie diferente que se encuentran en solución. Las operaciones de intercambio iónico pueden ser de tipo continuo o discontinuo (batch). En un proceso discontinuo, la resina se agita simplemente con el agua que se ha de tratar en un reactor hasta que se complete la reacción. La resina agotada se extrae por sedimentación y, seguidamente, se regenera y reutiliza. En un proceso continuo, el material de intercambio se coloca en un lecho o una torre y se hace pasar por ella el agua que se debe tratar. La química del proceso de intercambio iónico puede representarse por las siguientes ecuaciones de equilibrio:

Reacción:



SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FIGURA 4.10



TANQUE DE PRECIPITACION QUIMICA.

Kemmer; 1989; 10-9.

ANEXO B

Regeneración:



Donde R = resina.

Las ecuaciones representan las reacciones que tienen lugar en la eliminación de los iones sodio y calcio del agua, utilizando una resina sintética de intercambio catiónico. La regeneración de la resina agotada se representa por las ecuaciones. Las reacciones de separación mostradas se completarán hasta un punto que depende del equilibrio que se establezca entre los iones en la fase acuosa y los de la fase sólida. Para la eliminación del sodio, este equilibrio viene definido por la siguiente ecuación:

$$\frac{[\text{H}] \cdot x_{\text{RNA}}}{[\text{Na}] \cdot x_{\text{RH}}} = K_{\text{H} - \text{Na}}$$

Donde:

$K_{\text{H} - \text{Na}}$ = Coeficiente de selectividad.

[] = Concentración en la fase en solución.

x_{RH} = Fracción molar de hidrógeno en la resina de intercambio.

x_{RNA} = Fracción molar de sodio en la resina de intercambio.

El coeficiente de selectividad depende principalmente de la naturaleza y valencia del ion, del tipo de resina y su saturación y de la concentración del ion en el agua residual. En realidad, para una serie dada de iones semejantes, se ha comprobado que las resinas intercambiadoras exhiben un orden de selectividad o de afinidad por los iones. Se indican seguidamente algunas series típicas de las resinas sintéticas de intercambio catiónico y aniónico.

Aunque se dispone de resinas de intercambio iónico natural y sintéticas, son estas últimas las más utilizadas de razón de su durabilidad. No obstante, algunas resinas naturales (zeolitas) han encontrado aplicación en la eliminación de amoníaco del agua residual. De las zeolitas naturales investigadas, la conocida como Hector Clinoptilolite ha resultado ser la más efectiva. Una de las características de esta zeolita es el sistema de regeneración utilizado. Tras el agotamiento, la zeolita se regenera con cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El ion amonio separado de la zeolita se convierte en amoníaco debido al elevado pH.

ANEXO B

Al llegar a este punto, la solución regenerante se hace pasar a través de una torre de arrastre para la separación del amoniaco. El líquido liberado se recoge en un tanque donde queda almacenado para su reutilización posterior. La ventaja de este sistema es que no hay residuo alguno del proceso que contenga amoniaco para el que deba preverse su eliminación.

Un acuciante problema que debe resolverse es la formación de precipitados de carbonato cálcico dentro del lecho de intercambio de la zeolita así como en la torre de arrastre y en las conducciones.

Tal y como se indica en la Figura 4.11 el lecho de zeolita está equipado con un dispositivo para promover una contracorriente, facilitándose así la eliminación de los depósitos de carbonato que se forman dentro del filtro.

Un grave problema relacionado con la aplicación del intercambio iónico al tratamiento de efluentes de agua residual es el aglutinamiento de la resina causado por la materia orgánica residual presente en el efluente procedente de un tratamiento biológico. Este problema ha sido parcialmente resuelto filtrando previamente el agua residual o utilizando resinas intercambiadoras eliminadoras antes de su aplicación a la torre de intercambio.

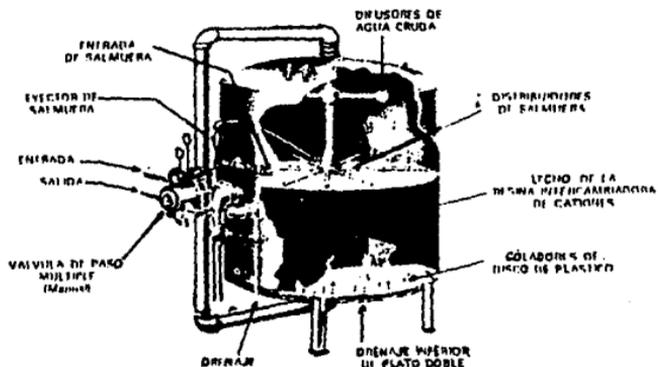
Para que el intercambio iónico resulte económico en el tratamiento avanzado de aguas residuales, convendrá utilizar productos regeneradores y restauradores que eliminen tanto los aniones inorgánicos como el material orgánico de la resina agotada. Los restauradores físicos y químicos, cuya aplicación en la separación de materias orgánicas de resina se ha realizado con éxito, son hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, metanol y bentonita. (Metcalf y Eddy; 1981).

16.0) TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO

En este proceso se mezcla el agua residual con agua del mar y se hace pasar a una célula simple que contiene electrodos de carbono.

En razón de las densidades relativas del agua del mar y de la mezcla de aguas del mar y residual, la primera se acumula en la superficie del cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente elevada del pH en el cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente eleva el pH en el cátodo, precipitando con ello fósforo y amoniaco, $\text{Ca}_3(\text{PO}_3)_2$ y MgNH_4PO_4 junto con $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Las burbujas de hidrógeno, generadas en el cátodo, elevan el fango a la superficie, donde es arrastrado y eliminado por los medios normales ya citados. El cloro desarrollado en el ánodo de la célula desinfecta el efluente. La mezcla sobrante de agua residual - agua de mar es seguidamente vertida al mar. (Metcalf y Eddy; 1981).

FIGURA 4.11



INTERCAMBIO IONICO POR ZEOLITA.

Kemmer; 1989; 12-11.

ANEXO B

17.0) DIALISIS

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 los cuales puede difundirse el soluto. Los iones de gran radio iónico se difunden lentamente que aquellos de radio pequeño, de modo que es posible una separación de especies iónicas. Los solutos o coloides 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 usadas 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 su poro. Figura 4.12.

(Kemmer; 1989).

18.0) ELECTRODIALISIS

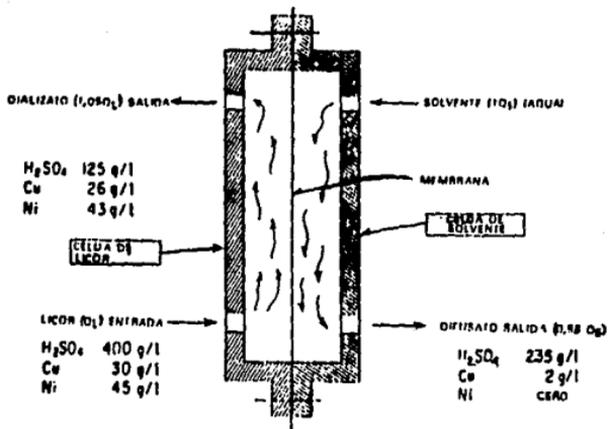
En la electrodiálisis la fuerza impulsora es de carácter eléctrico. Membranas semipermeables, que tienen propiedades de intercambio de anión y de catión, son aplicadas en forma alternada en una prensa con pasillos angostos de agua entre ellas. Cuando se aplica una corriente directa a los electrodos colocados 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 alternancia de membranas genera concentración y dilución en los compartimientos alternados del apilamiento.

La velocidad del flujo a través de estos compartimientos pequeños o canales, el número de pilas empleadas y la magnitud de la fuerza impulsora o de la corriente eléctrica aplicada, determina 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 electrodiálisis (formación de H_2 y O_2) y se reducirá la eficiencia global.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FIGURA 4.12



DIALISIS.

Kemmer; 1989; 15-4.

ANEXO B

La polarización de la concentración es aún más limitante, ya que provoca el desarrollo de un potencial de membrana que se opone al potencial aplicado. La polarización de la concentración y la separación del agua, aumentan la tendencia a la formación de incrustaciones a medida que las concentraciones de calcio en los canales de salmuera exceden la solubilidad de 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 mayor (iones OH^-). El desarrollo de incrustaciones o de depósitos en la superficie de la membrana reduce la transferencia de iones y aumenta los requerimientos de corriente.

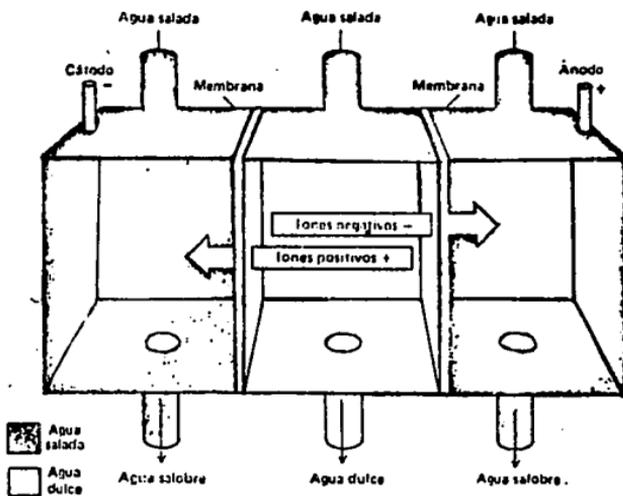
Las mejoras en los diseños de las membranas y de los apilamientos han ayudado a reducir a un mínimo los efectos de la polarización de concentración. Se han diseñado métodos para estabilizar las tendencias a la formación de incrustaciones y para la limpieza sobre la marcha de los apilamientos con objeto de posponer las polarizaciones. Se han diseñado celdas especiales para aplicaciones individuales al intentar un aumento en la seguridad y una reducción en los costos. Figura 4.13. (Kemmer; 1989).

Los componentes iónicos de una solución son separados por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones en el proceso de la electrodiálisis. La aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos causa una corriente eléctrica que atraviesa la solución, la cual a su vez, origina una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo. Dado el espaciado alternado de las membranas permeables a los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

Los problemas relacionados con el proceso de la electrodiálisis para la renovación del agua residual incluyen la precipitación química de sales de poca solubilidad en la superficie de la membrana y la obstrucción de ésta por la materia orgánica coloidal residual en los efluentes de las plantas de tratamiento.

Para reducir la obturación de las membranas convendrá efectuar un pretratamiento con carbón activo, posiblemente precedido por precipitación química y alguna forma de filtración en medio múltiple. (Metcalf y Eddy; 1981).

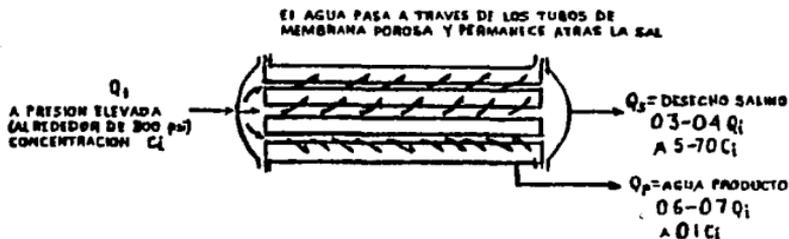
FIGURA 4.13



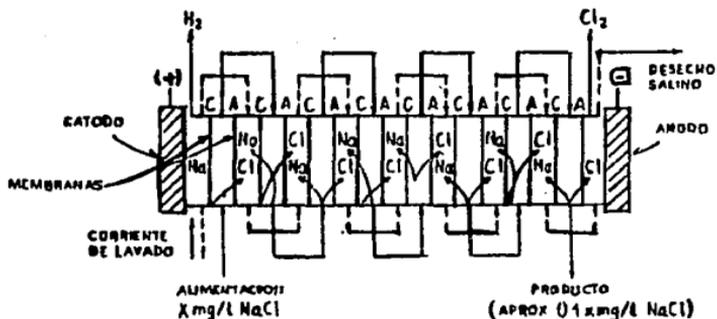
UNIDAD DE ELECTRODIALISIS.

Kemmer; 1989; 15-5.

FIGURA 4.13



(a) OSMOSIS INVERSA (ETAPA UNICA).



- A- MEMBRANA PERMEABLE A LOS CATIONES QUE PERMITE PASAR TODOS LOS CATIONES (NA EN ESTA ILUSTRACION) PERO RECHAZA LOS ANIONES
- C- MEMBRANA PERMEABLE A LOS ANIONES QUE PERMITE PASAR TODOS LOS ANIONES (CL EN ESTA ILUSTRACION) PERO RECHAZA LOS CATIONES

UNIDAD DE ELECTRODIALISIS.

ANEXO B

19.0) OXIDACION - REDUCCION

La oxidación es una reacción química en la que hay un incremento de valencia (o una pérdida de electrones). Para conservar la neutralidad eléctrica de un sistema de oxidación deberá estar acompañada de una reducción, que puede definirse como aquella en la que hay un decremento de valencia (o ganancia de electrones).

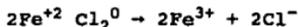
Los agentes oxidantes más comunes empleados en el tratamiento del agua son el aire, el cloro, y los compuestos que generan cloro, el oxígeno, el ozono, el peróxido de hidrógeno, el permanganato de potasio, las sales de cromato y los compuestos de nitrato.

A continuación se presentan algunas aplicaciones principales para el acondicionamiento del agua mediante agentes oxidantes.

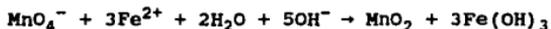
1) Remoción del hierro.

El hierro puede estar presente en el agua en forma coloidal, como hierro ferroso, o como un compuesto quelatado. La forma coloidal puede removerse por coagulación; floculación y precipitación o filtración. La forma quelatada puede requerir oxidación del material orgánico que compone el quelato de modo que el hierro puede ser precipitado para su remoción. En la forma ferrosa, se puede encontrar en concentraciones variables, y que puede removerse por medio de este método.

La oxidación del hierro con cloro y permanganato de potasio se muestran en las dos reacciones siguientes:



En esta reacción se requieren 0.64 mg/l de Cl_2 por cada mg/l de Hierro.



En esta reacción se requieren 0.95 mg/l de KMnO_4 por cada mg/l de Hierro.

El pH tiene un 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.

2) Remoción del cianuro.

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



ANEXO B

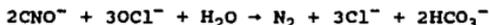
En esta reacción se requieren 2.75 mg/l de cloro por cada mg/l de Cianuro.



En esta reacción se requieren 4.1 mg/l de KMnO_4 por cada mg/l de Cianuro.

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

Aún cuando el cianato es mucho más denso que el cianuro, a menudo es necesario su destrucción completa, y se requiere de oxidación posterior del cianato con cloro o hipoclorito, como lo muestra la siguiente ecuación:

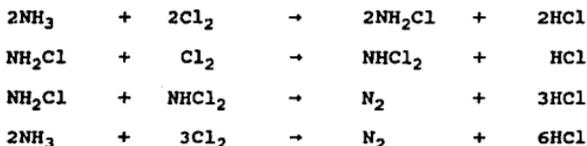


Combinada con la reacción anterior, la determinación completa del Cianuro a N_2 requiere 6.9 mg/l de Cl_2 por cada mg/l de Cianuro.

El pH óptimo para la segunda etapa de esta reacción es de alrededor de 8.5. (Kemmer; 1989).

También puede utilizarse para eliminar amoníaco, reducir la concentración de materias orgánicas remanentes y el contenido en virus y bacterias de las aguas residuales. El amoníaco puede eliminarse químicamente añadiendo cloro o hipoclorito para formar monocloramina y dicloramina como productos intermedios y gas nitrógeno y ácido clorhídrico como productos finales.

Las ecuaciones son las siguientes:

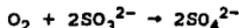


En teoría y según la ecuación, se requieren unos 6.3 mg/l de cloramina por miligramo/litro de amoníaco. Un problema que se presenta al aplicar este método de tratamiento al agua residual es la presencia de distintos compuestos orgánicos e inorgánicos que ejercerán una demanda de cloro, que se mejora con el empleo de radiación ultravioleta. (Metcalf y Eddy; 1981).

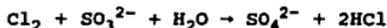
Los agentes reductores disponibles comercialmente que con mayor frecuencia se emplean en el tratamiento de aguas son bióxido de azufre, sulfito de sodio y sulfato o cloruro ferroso, y el uso ocasional de hidrosulfito de zinc, compuestos de borohidruro, sulfuro de hidrógeno y polvo de zinc.

ANEXO B

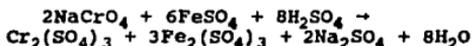
Las reducciones más comunes son la expulsión del oxígeno disuelto con sulfito de sodio, la reducción del exceso de cloro con sulfito de sodio y la reducción del cromato a su forma trivalente. A continuación se muestran reacciones típicas para cada uno de estos procesos:



En esta reacción, se requieren 8 mg/l de Na_2SO_3 por cada mg/l de Oxígeno.



En esta reacción, se requieren 1.8 mg/l Na_2SO_3 por cada mg/l de Cloro.



En esta reacción, se requieren 3.94b mg/l de FeSO_4 por cada mg/l de cromato.

En la práctica comercial, la primera reacción, la eliminación del oxígeno disuelto en el agua, requiere el uso de un catalizador para que el tratamiento sea práctica en un tiempo razonable; no es preciso cartalizar la reducción del cloro.

La reducción del cromato se lleva a cabo a un pH de alrededor 2.5 a 3.0 usando más del doble de lo requerido teóricamente del agente reductor para la terminación de la reacción en 15 a 20 minutos. (Kemmer; 1989).

El nitrato puede reducirse electrolíticamente así como por el uso de fuertes agentes reductores. Cuando se utilicen agentytes reductores, la reacción debe generalmente catalizarse. La reducción del nitrato por el hidroxido ferroso puede describirse mediante las dos siguientes reacciones:



Se han ensayado otros procesos de dos fases, utilizando agentes reductores y catalizadores. Sin embargo, estos métodos suelen verse limitados por la disponibilidad de productos químicos a bajo precio así como por el hecho de que el efluente tratado y el fango sobrante pueden contener compuestos tóxicos derivados de los productos químicos utilizados para catalizar las distintas reacciones. (Metcalf y Eddy; 1981).

En todas estas reacciones debe considerarse al tiempo como un factor importante. (Kemmer; 1989).

ANEXO B

D.3) PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS.

20.0) ASIMILACION BACTERIANA

La eliminación del nitrógeno y del fósforo mediante tratamiento biológico depende del hecho de que el crecimiento normal y continuado de los microorganismos requiere la disponibilidad de ciertos elementos y nutrientes así como de una fuente de energía.

Si la composición biológica se representa como $C_5H_7NO_2$, tendremos entonces que se requieren aproximadamente 0.13 Kg de nitrógeno por cada kilogramo de células producidas.

La cantidad de fósforo requerida es una quinta parte de la del nitrógeno. Si la fuente alimenticia se ajusta y selección convenientemente, será posible convertir todas las formas solubles de nitrógeno y fósforo en las formas orgánicas contenidas en las células bacterianas.

Aunque la eliminación total de estos elementos ha sido demostrada en diversos ensayos de laboratorio, la conversión de los compuestos de nitrógeno y fósforo del agua residual en protoplasma bacteriano exige normalmente la adición de carbohidratos o productos afines como fuente de alimentación y energía.

Sin enriquecimiento, solamente del 30 al 40% del nitrógeno hallado en el agua residual doméstica, se transformará en nitrógeno orgánico en el tejido celular mediante procesos de tratamiento convencionales de tipo biológico.

Utilizando metanol como fuente suplementaria de alimentación y energía, la asimilación de amoníaco en tejido celular en un proceso convencional de tratamiento biológico puede representarse por medio de las dos reacciones siguientes:

Reacción de energía:



Síntesis:

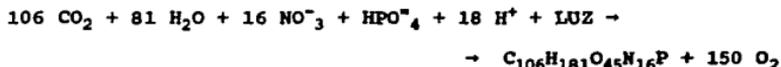


La cantidad total requerida de metanol dependerá de la relación entre la cantidad requerida para la producción de energía con la necesitada para la síntesis. (Metcalf & Eddy; 1981).

ANEXO B

21.0) CULTIVO DE ALGAS

El nitrógeno del agua residual puede eliminarse mediante cultivos de algas. El crecimiento del tejido celular en tal sistema puede representarse por una reacción del tipo siguiente:



Aunque este proceso es teóricamente realizable, deberá suplementarse el residuo crudo con anhídrido carbónico para completar la eliminación del nitrógeno en aquellos casos en que deban eliminarse grandes cantidades de nitrato.

En la actualidad, los principales inconvenientes con que tropieza este proceso son la necesidad de grandes espacios así como los problemas y costos relacionados con la recogida y eliminación final de las algas. (Metcalf y Eddy; 1981).

22.0) NITRIFICACION - DENITRIFICACION

De los procesos de tratamiento biológicos para la eliminación del nitrógeno, el proceso de nitrificación - desnitrificación parece ser el más prometedor.

Las razones para afirmar esto son:

- 1) Gran eficiencia potencial de eliminación.
- 2) Estabilidad y fiabilidad del proceso.
- 3) Control sencillo del mismo.
- 4) Necesidad relativamente pequeña de terreno, y,
- 5) costo moderado.

La eliminación del nitrógeno con este proceso se lleva a cabo en una o dos fases, según la naturaleza del agua residual.

Si la que ha de tratarse contiene nitrógeno en forma de amoníaco, se requerirán dos fases. En la primera de ellas, el amoníaco es convertido por vía aerobia a la forma NO_3^- de nitrato (nitrificación).

En la segunda fase, los nitratos son convertidos por vía anaerobia a gas nitrógeno N_2 (desnitrificación).

Si el nitrógeno del agua residual se hallase ya en forma de nitrato, como sucede en el caso de agua recuperada tras su uso en irrigación, sólo se requerirá la fase de desnitrificación.

ANEXO B

Nitrificación

El nitrógeno en forma de ion amonio se convierte a nitrato en dos fases mediante las bacterias nitrificantes autótrofas, tal como lo muestran las reacciones siguientes:

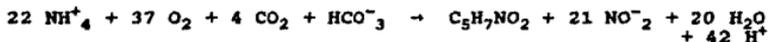


Reacción de la energía total:



Además de obtener energía, parte del ion amonio es asimilado en el tejido celular.

Con base en los resultados de estudio de laboratorio y cálculos teóricos, se ha propuesto la siguiente reacción general para describir la conversión autótrofa del ion amonio a nitrato

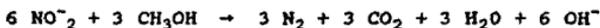


La nitrificación se presenta en la mayoría de los procesos aeróbicos de tratamiento biológico siempre y cuando las condiciones ambientales y operatorias sean las adecuadas, en el proceso de lodos activados, una de las variables de control importante es el tiempo medio de retención celular.

Desnitrificación

Los requisitos para esta reacción con una fuente de hidrógeno combinado y la carencia de oxígeno libre (Condiciones anaeróbicas).

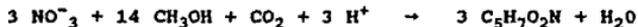
Cuando se utiliza metanol como fuente de carbono, la reacción de energía puede representarse por las siguientes reacciones:



La reacción de energía total es:



Una reacción de síntesis típica propuesta por M^c Carty es la que se indica a continuación:

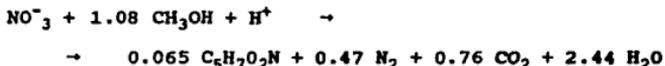


En la práctica, la síntesis requiere de un 25 a 30% de la cantidad de metanol necesitado por la reacción de energía.

ANEXO B

M^c Carty, sobre la base de ensayos experimentales de laboratorio, llegó a la siguiente ecuación empírica para describir la reacción total de eliminación del nitrato:

Reacción de la energía total:

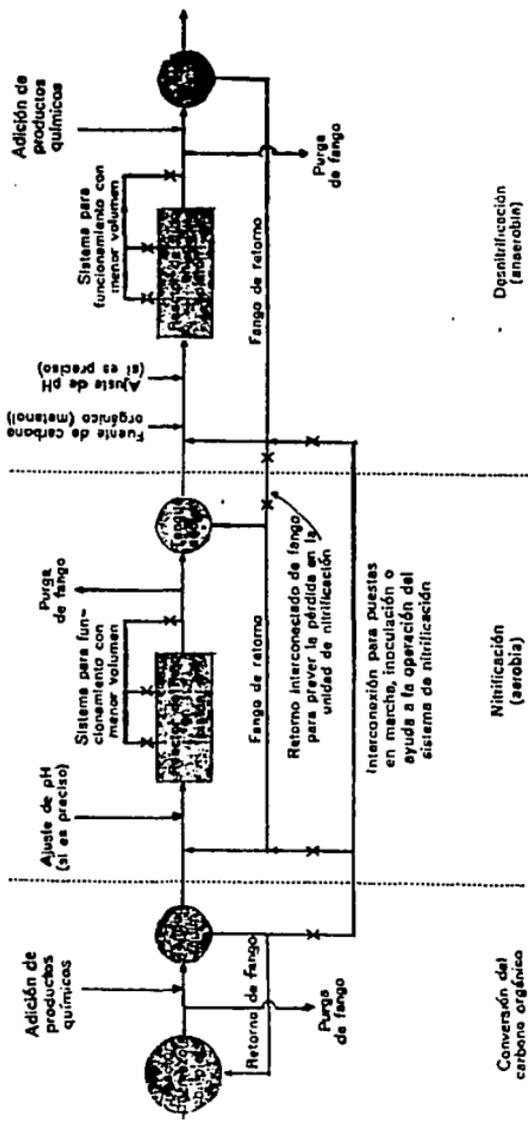


Si todo el nitrógeno se hallase en forma de nitrato, la necesidad total de metanol se determinará utilizando la ecuación anterior, sin embargo, el agua residual sometida a un proceso biológico y que tenga que desnitrificarse puede contener algo de nitrito y de oxígeno disuelto.

Suponiendo que se pueda suministrar aire suficiente, la nitrificación en un reactor convencional de fangos activados puede asegurarse si se aumenta el tiempo medio de retención celular por encima de 10 días. Diagrama 4.1.

Aunque la nitrificación pueda conseguirse en el reactor de fangos activados, los problemas pueden presentarse en el funcionamiento del tanque de sedimentación, debido a la formación de fango ascendente. (Metcalf y Eddy; 1981).

DIAGRAMA 4.01



NITRIFICACION - DESNITRIFICACION.

ANEXO C
GLOSARIO

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipales, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que no han sido utilizadas con fines industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios.

AGUAS RESIDUALES DE LOS SERVICIOS: Las que provienen de los servicios de reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, revelado de fotografía o similares.

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES: Las que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de actividades complementarias.

AUTOPURIFICACION: Modo natural de depuración de una masa de agua contaminada.

CALIDAD DEL AGUA: Empleo al que se destina, esto es, para bebida del hombre y de los animales, para soporte de una vida marina sana, para la agricultura, el comercio, la industria y el recreativo, entre otros.

CONTAMINACION DEL AGUA: Es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

CUERPO RECEPTOR: Es toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

DESCARGA: El conjunto de aguas residuales que se vierten en algún cuerpo receptor.

EFLUENTE: Agua descargada proveniente de procesos industriales o sistemas de tratamiento.

MUESTRA: Toma representativa de agua, de manera intermitente o continua con el propósito de examinar diversas características definidas.

MUESTRA COMPUESTA: Mezcla intermitente o continua, en proporciones adecuadas, de por lo menos dos muestras a partir de la cual se puede obtener el valor medio de la característica deseada. Las porciones de las muestras se calculan generalmente a partir de mediciones de tiempo o flujo.

ANEXO C

MUESTRA SIMPLE: La que se toma ininterrumpidamente durante el periodo necesario para completar un volumen proporcional al caudal de manera que éste resulte representativo de la descarga de agua residual medido en el sitio y en el momento del muestreo.

MUESTREO: Acción que consiste en tomar un volumen considerado como representativo de un cuerpo de agua a fin de examinar diversas características definidas.

MUESTREO CONTINUO: Proceso mediante el cual una muestra se toma de manera continua de un cuerpo de agua.

PARAMETRO: Unidad de medición, que al tener un valor determinado, sirve para mostrar de una manera simple las características principales de un contaminante.

PRESERVACION DE LA MUESTRA: Proceso en el cual, por medio de adición de productos químicos o la modificación de las condiciones físicas o ambas, se reducen al mínimo los cambios de las características de la muestra a determinar durante el tiempo que transcurre entre el muestreo y el análisis.

SISTEMA DE ALCANTARILLADO: Es el conjunto de dispositivos y tuberías instalados con el propósito de recolectar, conducir y depositar en un lugar determinado las aguas residuales que se generan o se captan en una superficie donde hay una comunidad en general.

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

ANEXO C

TERMINOS RELATIVOS AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:

AIREACION: Introducción de aire a un líquido.

CLARIFICACION: Proceso en el que las partículas se sedimentan en un gran tanque sin agitación produciendo agua más clara como afluente.

COAGULACION: Procedimiento que consiste en agregar un producto químico (el coagulante) destinado a la desestabilización de las materias coloidales dispersadas y a su agregación bajo la forma de floculo.

DEPOSITO ANAEROBIO: Depósito en el que se realiza un proceso de descomposición anaerobia de lodos o desechos orgánicos.

DESAIREACION: Eliminación total o parcial del aire disuelto en el agua.

DESGASIFICACION: Eliminación total o parcial del gas disuelto en el agua, generalmente con la ayuda de un proceso físico.

DESINFECCION: Tratamiento del agua destinado a eliminar o inactivar los agentes patógenos.

DESIONIZACION: Eliminación total o parcial de los iones en el agua, particularmente mediante el empleo de resinas intercambiadoras de iones.

DESNITRIFICACION: Liberación del nitrógeno o del óxido nitroso de los compuestos nitrogenados (nitratos y nitritos) en el agua o agua residual generalmente por la acción de bacterias.

DESOXIGENACION: Eliminación total o parcial del oxígeno disuelto en el agua, ya sea por la acción de condiciones naturales o con la ayuda de procesos físicos o químicos.

DESTILACION: Proceso de evaporación y condensación utilizado para la preparación de un agua de alta pureza.

DIALISIS: Proceso mediante el cual pequeñas moléculas o iones se difunden a través de una membrana, para separarlos de moléculas más grandes en solución y de la materia en suspensión.

DIATOMEAS: Algas unicelulares (*Bacillariophyceas*) que poseen paredes celulares silíceas, que se utilizan para filtrar agua.

DIGESTION: Estabilización por procesos biológicos, aerobios y anaerobios, de la materia orgánica de un lodo.

ANEXO C

ELECTRODIALISIS: Proceso de desionización del agua en el que, bajo la influencia de un campo eléctrico, los iones son eliminados de una masa de agua y transferidos a otra a través de una membrana intercambiadora de iones.

ESTABILIZACION: Proceso químico o biológico por medio del cual las sustancias orgánicas (disueltas o suspendidas) fácilmente degradables son oxidadas a minerales o a materiales lentamente degradables.

ESTANQUE O LAGUNA DE OXIDACION: Depósito utilizado para la retención del agua residual, antes de su eliminación final, en el que la oxidación biológica de la materia orgánica se realiza por la transferencia del oxígeno del aire al agua, con la ayuda de medios naturales o artificialmente acelerados.

FILTRACION: Eliminación de los materiales en suspensión de una masa de agua, al pasarla a través de un tamiz de malla conveniente.

FLOCULO: Partículas macroscópicas formadas en un líquido por floculación, generalmente acelerado por medios mecánicos, físicos, químicos o biológicos.

FLOTACION: Ascenso a la superficie del agua de los materiales en suspensión.

FOSA SEPTICA: Tanque de sedimentación cerrado en el que el lodo asentado está en contacto íntimo con el agua residual que fluye a través del tanque y en el que las materias orgánicas son descompuestas por acción bacteriana anaerobia.

INTERCAMBIO IONICO: Materia capaz de intercambiar los iones de manera reversible con un líquido de contacto con ésta (Sin modificación importante de su estructura).

LECHO BACTERIANO O FILTRO BIOLÓGICO: Lecho de material inerte a través del cual se hace pasar agua residual para ser purificada por una película biológica activa que recubre el material inerte.

LECHO MEZCLADO (INTERCAMBIO DE IONES): Mezcla física de materias intercambiadoras de aniones y cationes.

LODO ACTIVADO: Es el proceso biológico del agua residual en el cual ésta es una mezcla con lodos activados y es posteriormente agitada y aireada, el lodo a continuación es separado por sedimentación, y es eliminado o recirculado.

ANEXO C

NITRIFICACION: Oxidación de la materia nitrogenada por medio de bacterias, generalmente, los últimos productos de oxidación están constituidos por nitratos.

OSMOSIS INVERSA: Paso del agua de una solución concentrada a una solución menos concentrada a través de una membrana, bajo el efecto de una presión superior a la diferencia de las presiones osmóticas de las dos soluciones, ejercida por la más concentrada de las dos.

OSONACION (OSONIZACION): Adición de ozono al agua o agua residual con el propósito de desinfectar, oxidar la materia orgánica o eliminar el olor y sabor desagradables.

POLIELECTROLITO: Polímero que tiene grupos ionizados y de los cuales algunos son utilizados para la coagulación de partículas coloidales y floculación de los sólidos en suspensión.

PREAIREACION: Aireación durante un corto período de tiempo de las aguas residuales decantadas, inmediatamente antes de su tratamiento biológico, o bien, la aireación de aguas residuales antes de la sedimentación.

REGENERACION (INTERCAMBIO DE IONES): Proceso que consiste en restituir su rendimiento operacional a una materia intercambiadora de iones después de su utilización.

SEDIMENTACION: Proceso de asentamiento y depósito, bajo la influencia de la gravedad, de los sólidos en suspensión transportados por el agua.