

62
2ef.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**"PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO
DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA
PRODUCTORA DE FENOL Y
ACETONA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

IRLANDA ROSSANA GARCIA GONZALEZ



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1997



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 esta 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.

Jurado asignado:

Presidente
Vocal
Secretario
1er. suplente
2do. suplente

Prof. Feliciano Fernández Alva.
Prof. José Luz González Chávez.
Prof. Adolfo García Osuna.
Prof. Rodolfo Torres Barrera.
Prof. Nadia Munguía Acevedo.

Sitio donde se desarrolló el tema:

Laboratorio 103. Departamento de Química Analítica. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Química. U.N.A.M.

Nombre completo y firma del asesor del tema:


Dr. José Luz González Chávez.

Nombre completo y firma del sustentante:


Irlanda Rossana García González.

INDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
I.1 Propósito del tratamiento y reuso del agua tratada	8
CAPÍTULO II GENERALIDADES	11
II.1 Origen y características del agua residual	11
II.2 Contaminación del agua	13
II.2.1 Contaminación	13
II.2.2 Impurezas en las aguas	20
II.2.3 Calidad del agua	21
II.2.4 Enfermedades relacionadas con el agua	27
II.3 Caracterización de las aguas	28
II.3.1 Métodos analíticos	28
II.3.2 Métodos de análisis	32
II.3.4 Muestreo y preservación de las muestras	36
II.3.5 Características de las descargas	41
II.3.6 Estimación de las descargas	42
II.4 Sistemas de tratamiento de aguas	43
II.4.1 Parámetros físicos, químicos y biológicos	43
II.4.2 Operaciones unitarias físicas	52
II.4.3 Procesos biológicos	55
II.4.4 Procesos químicos	67
II.4.5 Rendimientos	77
CAPÍTULO III TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE FENOL Y ACETONA	78
III.1 Descripción del proceso de una planta productora de fenol y acetona	78
III.2 Características de las aguas residuales del proceso de producción de una planta de fenol y acetona	81
III.3 Alternativas de tratamiento	81
III.3.1 Fases de depuración	82
III.3.2 Pretratamiento	83
III.3.3 Depuración primaria	89
III.3.4 Depuración secundaria	93
III.3.5 Depuración terciaria	97
III.3.6 Lodos residuales	98
III.3.7 Disposición final de los lodos estabilizados	104
III.4 Propuesta para el tratamiento del efluente de una planta productora de fenol y acetona	107
CONCLUSIONES	116
BIBLIOGRAFÍA	117

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La principal fuente de contaminación pluvial son las aguas residuales generadas en las grandes ciudades. El requerimiento fisiológico básico de agua de una persona es de 2.5 L/día, aunque la carga de trabajo y las condiciones climáticas pueden aumentar esta cifra, más que nada debido a la necesidad de reemplazar el agua perdida por la transpiración. A medida que el nivel de vida crece, aumenta también el uso del agua, ésta es una de las causas que trae como consecuencia la producción de aguas residuales para las cuales se debe de contar con métodos adecuados de tratamiento y eliminación.

El agua es uno de los materiales más importantes que un ingeniero utiliza, ya que sin un suministro adecuado de agua de calidad aceptable, es casi imposible que exista una industria. En realidad, el progreso industrial del hombre puede describirse en función del aprovechamiento de los recursos acuíferos de la Tierra y el progreso industrial futuro dependerá en gran parte del uso racional que de ella se haga. El abastecimiento seguro del agua constituye un factor básico en la selección de un sitio para cualquier planta industrial.

El agua es reconocida como fuente de vida, los sitios ideales para el asentamiento de poblaciones dedicadas a la pesca y a la agricultura son y han sido las riberas de los cuerpos de aguas naturales y actualmente son sitios de desarrollo urbano y rural.

Además de utilizarla para la supervivencia, el agua tiene otros usos domésticos, como por ejemplo: la higiene personal, el lavado de utensilios y ropa entre otros. La cantidad de agua que se usa para cada propósito doméstico depende de la disponibilidad de agua que tenga la comunidad, que a su vez depende de las reservas y el costo de la misma. Por ejemplo en comunidades muy primitivas, la

demanda de agua es de 2.5 L/persona-día, pero a medida que se modifican los estilos de vida, la demanda de agua sube a 10 L/persona-día, esto es normal si no hay abastecimiento entubado y se acarrea agua desde algún lugar. Cuando existe un hidrante público puede aumentar la demanda de agua a 25 L/persona-día y la demanda con una toma a domicilio en una comunidad de bajos ingresos es de 50 L/persona-día aproximadamente.

En los países desarrollados y en lugares residenciales de los países en vías de desarrollo la demanda de agua aumenta hasta 100 L/persona-día. En los Estados Unidos la demanda de agua es de 500 L/persona-día debido a las grandes descargas del retrete, los equipos de aire acondicionado y el riego de jardines. En los procesos industriales se consumen también grandes cantidades de agua, la demanda industrial puede igualar o exceder la demanda doméstica.

Para muchos procesos industriales no se requiere agua potable y cada día se aprovecha más el agua de calidad inferior, como la que proviene de un efluente de agua residual, para satisfacer por lo menos una parte de la demanda industrial. Esta demanda está muy relacionada con la productividad industrial, y está sujeta a cambios de circunstancia económica diferentes. El incremento de los costos a tarifas por la recolección y tratamiento, ejercen presiones considerables para reducir el consumo de agua en la industria.

En un sistema de distribución complejo son inevitables las pérdidas por fugas y desperdicio. En sistemas de abastecimiento que están totalmente controlados por medidores no es raro que por lo menos el 25 % del agua que ingresa al sistema, se pierda por tomas para el servicio de bomberos entre otras causas.

En lugares donde el clima es templado, casi todo el abastecimiento doméstico del agua así como el industrial, regresan al alcantarillado; en cambio en lugares

donde el clima es cálido, una parte se usa para el riego de jardines o se pierde por evaporación y sólo un 75 % del agua regresa a la red.

Por lo general, las plantas de tratamiento son muy costosas por lo que se diseñan para una vida útil de treinta años. Debido a esto es necesario predecir las demandas futuras de agua. El consumo doméstico de agua es el producto de la demanda per cápita por el total de habitantes. El consumo per cápita tiende hacia un valor límite relacionado con el nivel de vida de la comunidad y las condiciones ambientales. En los países desarrollados el número de habitantes generalmente es estático, mientras que en los países en vías de desarrollo la población aumenta considerablemente.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua en México son los ríos, manantiales y el subsuelo. La disponibilidad de estos recursos es muy variable en todo el territorio nacional. Las aguas superficiales se encuentran contaminadas por descargas domésticas, industriales y agropecuarias y la sobreexplotación del agua subterránea se está generalizando, lo que ha ocasionado deterioros irreversibles, intrusión salina, hundimientos del terreno y necesidad de bombeo a profundidades incoasteables.

Los sitios con mayor desarrollo demandan cada vez mayores cantidades de agua y son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas residuales municipales e industriales en los cuerpos receptores, en muchas ocasiones sin ningún tratamiento.

No hay duda de que las características naturales del territorio se han visto afectadas por el proceso de urbanización e industrialización que ha vivido el país. Lo muestra el hecho de que los principales focos de contaminación y de deterioro de los ecosistemas, se localizan en las más importantes ciudades y puertos industriales o tienen su origen en ellos, afectando las cuencas hidrológicas y los

diversos ecosistemas. Debido a estas tendencias, se observan ya insuficiencias críticas de agua limpia en algunas regiones, en consecuencia, su obtención tendrá un costo cada vez más elevado.

En las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara se generan 46, 8.5 y 8.2 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, respectivamente. En conjunto equivalen al 34 % del total a nivel nacional estimado en 184 metros cúbicos por segundo; de estos, 105 corresponden a descargas municipales y 79 a descargas industriales. (Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, julio de 1994.)

Los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua son: materia orgánica, que ocasiona la disminución de oxígeno disuelto; nutrientes, que provocan eutroficación; grasas y aceites, que perjudican a las algas y los peces además de disminuir la transferencia de oxígeno; organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas, que afectan a la salud humana y, a la flora y fauna acuática.

A escala nacional se genera una carga contaminante de materia orgánica total, medida en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de 2.4 millones de toneladas por año; que corresponden 36 % al ámbito municipal y 64 % al industrial.

El sector industrial, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación de agua, se ha configurado en 39 grupos, de los cuales 9 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos. Estos 9 grupos en conjunto arrojan el 82 % del total de aguas residuales de origen industrial. Destacan la industria azucarera y la química, con el 59.8 % del total.

Son 31 las cuencas que reciben el 91 % de la materia orgánica de las aguas residuales generadas en el país. El nivel de importancia de las cuencas se determinó de acuerdo a la superficie, el volumen de escurrimiento medio anual, el área bajo riego, el valor económico, la población aledaña, los municipios circundantes y las descargas de aguas residuales. De las cuencas más severamente deterioradas, cinco merecen una atención especial, en virtud de los grandes centros de desarrollo asentados en sus alrededores, ellas son: Lerma-Santiago, Pánuco, Balsas, San Juan y Blanco.

Los puertos industriales y turísticos y las zonas costeras del país constituyen también zonas con alto nivel de contaminación del agua, al verse afectadas por el vertido de aguas residuales municipales e industriales sin tratamiento ni control adecuado. A esto se agrega la carencia o manejo inapropiado de los sistemas de recolección y disposición de los residuos sólidos.

Acapulco, Coatzacoalcos, Ensenada, Salina Cruz, Lázaro Cárdenas y Villahermosa, entre otros, requieren de particular atención para frenar y revertir el nivel de contaminación de sus aguas costeras.

Se estima que dentro de cuatro años se verterán 207 metros cúbicos por segundo de aguas residuales; ello implica un enorme reto, no sólo para los servicios de agua potable y alcantarillado, sino también para los sistemas de tratamiento de aguas.

La SEDUE reportó en 1990 la existencia de 223 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con la capacidad total de 16.5 metros cúbicos por segundo; y 177 plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial, con la capacidad aproximada de 12 metros cúbicos por segundo. De lo anterior se deriva que, de la descarga total de aguas residuales municipales, sólo se trata el 15.7 % del cual aproximadamente la mitad se reutiliza. De las aguas residuales

industriales, únicamente se trata el 15.5 %. Cabe aclarar que estas cifras son estimadas según la capacidad instalada y que no todos los sistemas de tratamiento están en operación.

En algunas de las instalaciones para tratamiento de aguas residuales municipales, se detectan deficiencias importantes como son: diseño inadecuado, ubicación desfavorable por condiciones topográficas o por la localización de las redes de alcantarillado; obras inconclusas tanto en la red de atarjeas como en instalaciones de bombeo, en equipo electromecánico, en instalaciones de seguridad; desaparición de equipo o carencias de instalaciones eléctricas. La falta de recursos económicos no ha permitido ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado ni mejorar los sistemas de tratamiento.

La insuficiencia de personal capacitado para operar y mantener en buenas condiciones las instalaciones mencionadas es otro problema muy serio. A esto se agrega que el país no cuenta con la tecnología suficiente para la fabricación de equipo de medición y de tratamiento.

Actualmente se tienen Normas Oficiales Mexicanas para las descargas de aguas residuales y se cuenta con la facultad de otorgar o negar permisos para el vertimiento, con base en la calidad de agua que se pretende alcanzar en el cuerpo receptor.

**INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO
PLANTAS DE TRATAMIENTO MUNICIPALES**

ESTADOS	EN OPERACION			FUERA DE OPERACION		PROYECTO Y CONSTRUCCION	
	NÚMERO DE PLANTAS	GASTO DE DISEÑO (L/s)	GASTO OPERACION (L/s)	NÚMERO DE PLANTAS	GASTO (L/s)	NÚMERO DE PLANTAS	GASTO (L/s)
AGUASCALIENTES	61	2211.9	1908.8	24	99.1	6	124
BAJA CALIFORNIA	8	2482	2964	0	0	5	3035**
BAJA CALIFORNIA SUR	12	775	604	3	60	0	0
CAMPECHE	8	55.5	27.8**	1	1.3	0	0
COAHUILA	5	425	406**	4	212.5	4	1814
COLIMA	28	*	268	4	*	0	0
CHIAPAS	2	72.5	72.5	4	830.9	1	4.9
CHIHUAHUA	4	30**	120	0	0	4	*
DISTRITO FEDERAL	12	5813	2035	3	*	0	0
DURANGO	22	965	349	6	201	21	1660.5**
GUANAJUATO	7	1565**	700**	1	30	12	5705
GUERRERO	13	2320	1096	1	80	8	*
HIDALGO	4	131**	*	1	*	0	0
JALISCO	46	1644.7	1421.2	8	166	5	1430
ESTADO DE MÉXICO	14	84.1	84.1	0	0	18	3095**
MICHOACÁN	3	48.3	48.3	0	0	30	*
MORELOS	14	52.1**	452.8	7	75.7	2	*
NAYARIT	28	1574	603	11	171.4	22	60**
NUEVO LEÓN	25	518**	517.8	5	*	22	*
OAXACA	10	295	214	5	117	11	590.9
PUEBLA	6	34.4**	22.2**	0	0	14	347.4**
QUERÉTARO	2	225	140	4	48	6	700**
QUINTANA ROO	13	*	1044**	4	*	0	0
REGIÓN LAGUNERA	7	198	167.3	0	0	5	*
SAN LUIS POTOSÍ	4	113	91	7	126	11	528.3**
SINALOA	9	*	813	5	*	7	3645
SONORA	35	980.2**	*	14	200.5	7	4202.3**
TABASCO	14	757	707**	3	75**	0	0
TAMAULIPAS	13	2981.1	1644.9	0	0	7	3701.6
TLAXCALA	22	822.5	481	18	87.5**	0	0
VERACRUZ	45	1879	689	*	*	21	3727**
YUCATÁN	9	42	28	*	*	0	0
ZACATECAS	6	161	144.5	19	118	15	440
TOTAL	508	28831.3**	19781.0**	160	2699.9**	264	35347.9**

REGIONAL NORTE	76	4693.1**	3296**	15	413.5**	63	7206.1**
REGIONAL NORESTE	116	4064.9**	2630.3**	50	343.1**	53	4826.3**
REGIONAL NOROESTE	92	5811.2**	488.4**	33	431.9**	5	
REGIONAL LERMA-BALSAS	96	5903**	3783.5**	18	32.4**	61	7836**
REGIONAL VALLE DE MÉXICO	72	6737.1**	3075.1**	29	163.2**	34	3412.4**
REGIONAL SURESTE	56	1222*	2060.3**	17	1024.2**	12	865.8**

* No se especifica el gasto.

** No incluye todas las plantas.

□□□ Información no validada

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Julio de 1994.

Como se puede observar una quinta parte de las plantas que se construyeron no están operando; se tendría que investigar las razones por las cuales no se encuentran funcionando; ya que es dinero mal invertido, aunque es casi seguro que el problema es un mal diseño de la planta. En la actualidad se están construyendo 264 plantas y se debería asegurar que todas van a funcionar, que no será más dinero tirado a la basura.

1.1 PROPÓSITO DEL TRATAMIENTO Y REUSO DEL AGUA TRATADA

El propósito del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de sustancias contaminantes con dos objetivos principales:

- Control de la contaminación del agua para cumplir con la legislación vigente y evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos de aguas receptores (agua o suelo).

•Reusar el agua tratada en aquellas aplicaciones en las que no se requiere agua de calidad potable, o que el agua tratada pueda ser reutilizada en la industria, agricultura, acuicultura, etc.

El reuso de aguas tratadas, ya sea en forma directa o indirecta, es un método de disposición que complementa los otros métodos de disposición en el medio ambiente acuático (lagos, ríos, estuarios, océanos).

La cantidad de agua tratada que pueda ser reusada dependerá de:

- disponibilidad
- costos del agua de primer uso
- costos de tratamiento y de conducción
- de los criterios, estándares o normas de calidad de agua y
- del potencial de reuso o de recirculación del agua tratada.

El reuso del agua tratada, puede clasificarse de acuerdo a sus aplicaciones en:

Reuso potable.	Recarga de acuíferos, dilución de aguas naturales.
Reuso doméstico.	Suministro doble, en el que el agua tratada se reusa en excusados, mingitorios y riego de áreas verdes.
Reuso municipal.	Riego de áreas verdes, campos de golf, lavado de calles y automóviles y agua para incendio.
Reuso industrial.	Enfriamiento, generación de vapor, alimentación a procesos que no tienen contacto con alimentos, bebidas o medicamentos, riego de áreas verdes y recarga de acuíferos para usos industriales
Reuso agrícola.	Riego de terrenos agrícolas, forestales y de pastoreo.

Reuso piscícola.	Criadero de peces
Reuso recreativo.	Sin contacto directo: velleo, remo, lagos artificiales. Con contacto directo: natación, pesca deportiva, etc.
Reuso recarga de acuíferos para otros usos.	Directo: para el control de intrusión salina, control del balance de sales en aguas subterráneas. Indirecto: para el control de problemas de hundimientos de suelo, para activar represuración en pozos petroleros, compactación de suelos.

Cada vez que se haga uso de este vital líquido, el agua, debemos de concientizarnos para no hacer mal uso de él. Y se debe exigir que las plantas de tratamiento siempre operen a la mayor eficiencia posible, y que todas las industrias tengan una de ellas; ya que si seguimos como hasta ahora, lo único que vamos a ocasionar es la escasez del agua y el desequilibrio ecológico total, que posteriormente nos llevará a la muerte.

OBJETIVO

Este trabajo intenta dar una visión general de los conceptos y tecnologías básicas que se deben conocer para poder hacer el bosquejo de una planta de tratamiento de aguas residuales. En este caso, se tomará como ejemplo los efluentes de una planta fenol-acetona.

CAPÍTULO II GENERALIDADES

II.1 ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

Un sistema hidrosanitario urbano inicia en la fuente, de donde es captada, si el agua de este lugar no reúne las condiciones para el consumo humano, se le da un tratamiento para que cumpla con los parámetros establecidos, posteriormente esta agua se entrega a los usuarios que al utilizarla le agregan impurezas, que pueden proceder de uso doméstico, comercial, industrial, de establecimientos de servicios, de usos municipales y en algunas poblaciones pequeñas se acostumbra que los habitantes tengan hortalizas y huertos, cuyas aguas de desecho en ocasiones van al drenaje.

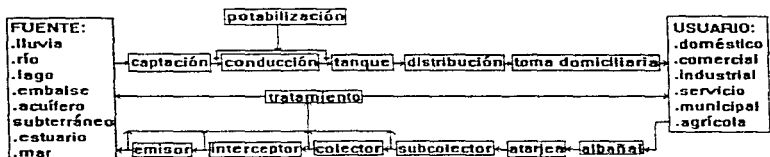
Las aguas residuales, mezcladas con contaminantes procedentes de todo tipo de uso que existen en una comunidad, son desalojadas del predio hacia el alcantarillado por medio del albañal. Posteriormente por el emisor es enviada al suelo o a cuerpos de agua, en ocasiones sin tratamiento, lo que debe evitarse construyendo y operando una planta de tratamiento con personal capacitado.

Las plantas de tratamiento por su ubicación dentro del sistema hidrosanitario urbano pueden dividirse en:

✓ Terminal. Cuando se encuentra al final de la red de alcantarillado y su objetivo es tratar al total de las aguas residuales que se van a desechar y así evitar la contaminación de agua y suelo.

✓ Intermedia. Cuando se encuentra en la población y su objetivo es sólo tratar parte de las aguas del sistema de alcantarillado para ser utilizadas en la industria, riego u otros y no para ser desechada.

SISTEMA HIDROSANITARIO URBANO



La cantidad y el tipo de contaminantes contenidos en una descarga es función del uso que se le dio al agua. Existen tres tipos de aguas residuales: urbanas, agrícolas e industriales, siendo las urbanas junto con las industriales las que contienen una cantidad mayor de contaminantes. Las características generales de los diversos tipos de agua residual se muestran a continuación:

Tipificación de los diversos tipos de agua residual

TIPOS DE AGUA RESIDUAL	CARACTERÍSTICAS
URBANAS	Grandes volúmenes. Alta concentración de materia biodegradable. Patógenos. Poca variación de la concentración. Variación según la hora.
INDUSTRIALES	Volúmenes variables. Composición diversa. Continuas o periódicas.
AGRÍCOLAS	Volumen dependiente de la lluvia y del riego. Componentes del suelo, fertilizantes y plaguicidas.

II.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

II.2.1 CONTAMINACIÓN

Contaminación de un cuerpo de agua

Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminantes sin efectos serios debido a los factores de dilución y autopurificación que están presentes. Si existe contaminación adicional, se altera la naturaleza del agua receptora y deja de ser adecuada para sus diferentes usos.

Un cuerpo de agua se considera contaminado cuando la composición o el estado de sus aguas son directa o indirectamente modificadas por la actividad del hombre en una medida tal, que disminuye la facilidad de utilización para todos aquellos fines, o alguno de ellos, a los que podrían servir en estado natural (Hernández, A.).

Muchas enfermedades graves están relacionadas con la contaminación microbiológica del agua que se debe en mayor parte a bacterias patógenas excretadas por gente que sufre o porta la enfermedad.

Los efectos producidos por la contaminación de las aguas se refleja en los siguientes puntos:

- Distribución de los limitados recursos hidráulicos.
- Disminución de la calidad del agua para abastecimiento de las poblaciones, uso para riego o industria, puesto que todos estos usos tienen limitaciones cualitativas.

- Supresión del poder autodepurador de los cauces receptores, con destrucción de flora y fauna.
- Afecta a los asentamientos humanos, la pesca y los deportes, a los visitantes y turistas.
- Es un peligro potencial que atañe directamente a la salud pública, influye en la economía, recreo y esparcimiento.
- Requiere un tratamiento adecuado para la utilización del agua.

Los contaminantes pueden estar presentes como:

	En el agua natural	En el agua residual
Sólidos en suspensión flotantes o grandes	hojas, ramas, etc.	papel, trapos, arenas, etc.
Sólidos en suspensión pequeños y coloidales	partículas de arcilla y limo, microorganismos.	moléculas orgánicas grandes, partículas de suelo, microorganismos.
Sólidos disueltos	alcalinidad, dureza, ácidos orgánicos.	compuestos orgánicos, sales inorgánicas.
Gases disueltos	bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno	sulfuro de hidrógeno.
Líquidos no mezclables	grasas y aceites.	grasas y aceites.

La contaminación del agua se produce por la calidad y cantidad de constituyentes químicos, físicos y biológicos contenidos en ella. Dependiendo de la cantidad de estos constituyentes, el agua residual es clasificada como de fuerza baja, media o fuerte. Las características y composición de las aguas residuales se muestran en las siguientes tablas:

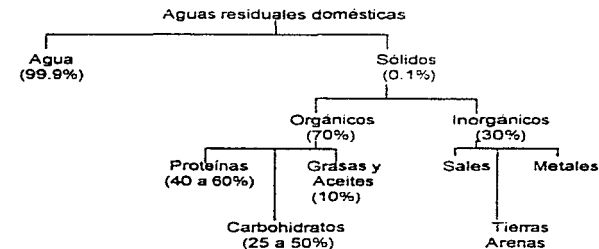
CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS (HERNÁNDEZ)

PARÁMETRO (mg/L)	CONTAMINACIÓN FUERTE	CONTAMINACIÓN MEDIA	CONTAMINACIÓN LIGERA
Sólidos totales	1000	500	200
Volátiles	700	350	120
Fijos	300	150	80
Sólidos en sus- pensión totales	500	300	100
Volátiles	400	250	70
Fijos	100	50	30
Sólidos disueltos totales	500	200	100
Volátiles	300	100	50
Fijos	200	100	50
D.B.O ₅ , a 20 °C	300	200	100
Oxígeno consumido	150	75	30
Oxígeno disuelto	0	0	0
Nitrógeno total	88	50	25
Orgánico	35	20	10
Amoníaco libre	50	30	15
Nitros (NO ₂ ⁻)	0.10	0.05	0.00
Nitros (NO ₃ ⁻)	0.40	0.20	0.10
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	40	20	0

La característica física más importante del agua residual doméstica es el contenido total de sólidos, que están compuestos por materia flotante, materia en suspensión, materia coloidal y materia en disolución. Otras características físicas incluyen la temperatura, el color y el olor.

Dentro de las características químicas se encuentra el contenido de materia orgánica que se deriva de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos presentes en el agua residual doméstica son proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %), y grasas y aceites (10%) (Metcalf). Un ejemplo de compuesto orgánico es la urea, que es uno de los principales constituyentes de la orina.

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (TEBBUTT)



La materia inorgánica proviene del contacto de las aguas con las formaciones geológicas y de la contaminación provocada por los desechos industriales.

Los gases comúnmente encontrados en el agua residual incluyen a los constituyentes de la atmósfera así como aquellos que se generan debido a la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual. El nitrógeno presente en el agua residual doméstica se encuentra, principalmente, en forma de

sales de amonio y nitrógeno orgánico. Las proporciones están sujetas a variación, ya que establecimientos comerciales e industrias como las procesadoras de carne y leche, refinerías, plantas petroquímicas, las plantas productoras de fertilizantes y fibras sintéticas, que hacen uso de amoniaco, contribuyen en gran medida al aporte de amonio en cantidades diversas.

Contaminación natural

El agua absolutamente pura sólo se obtiene en el laboratorio. El agua cruda está contaminada con aguas negras o desechos industriales o impurezas, dentro de las cuales tenemos gases disueltos, como dióxido de carbono y oxígeno y materia mineral soluble, incluyendo iones metálicos tales como el calcio, magnesio, hierro y sodio, que se mantienen en equilibrio químico con aniones del tipo de sulfato, bicarbonato, carbonato, oxhidrilo, cloruro y otros. Estas sustancias van disolviéndose conforme el agua fluye sobre la tierra o se filtra a través de ella.

Además de los materiales disueltos, muchas aguas superficiales transportan sólidos que van desde arena que es pesada y se asienta con rapidez, hasta partículas dispersas en forma coloidal que son indefinidamente estables en suspensión.

Dependiendo de su origen, el agua cruda también contiene cantidades variables de materia orgánica disuelta o dispersa. Ejemplo evidente de ello se encuentra en los drenajes de tuberías y pantanos de cipreses, en sistemas de canales de granjas, y en los productos de descomposición de plantas y animales acuáticos que murieron a causa de los cambios en el clima o en el medio ambiente. En las corrientes, la mayor parte de la materia orgánica desaparece a lo largo de una distancia relativamente corta, debido a la capacidad purificadora de los organismos de dicha corriente, que la utilizan como alimento. Algunas sustancias

orgánicas por ejemplo los humatos y los tanatos, son muy resistentes a la destrucción bioquímica, y su color puede persistir en forma casi indefinida.

La acumulación natural de impurezas en el agua es el resultado de los procesos químicos y físicos que se llevan a cabo en forma espontánea y no se puede hacer mucho por evitarla. En cambio, la contaminación proveniente de las descargas de desechos municipales e industriales sí se puede controlar.

Contaminación industrial y municipal

Este tipo de contaminación se originó con la aparición de las primeras comunidades establecidas. La contaminación aumentó en forma constante conforme la industria manufacturera creció y las comunidades se hicieron más grandes.

Una corriente de agua puede contaminarse de forma directa o indirecta y las causas pueden ser físicas, químicas, biológicas, térmicas y radiológicas. Es muy raro encontrar un caso que sólo corresponda a una sola categoría en particular, a excepción de los casos de contaminación con sustancias radioactivas.

La contaminación física se manifiesta en forma de depósitos de lodos, desechos flotantes, espumas, turbidez, color, sabor, olor y temperatura, entre otros.

La contaminación química se manifiesta en forma de aumentos de dureza, salinidad, acidez o basicidad; tampoco es raro que se descarguen iones tóxicos de metales como cromo, cobre, plomo, magnesio, plata, zinc; sin embargo, estos son materiales valiosos, lo cual a menudo justifica su recuperación en las plantas de tratamiento de desechos. En casi todas las aguas de drenajes de minas y en diferentes desechos industriales hay manganeso, fierro, aluminio, y también se encuentran cianuros, fluoruros y compuestos orgánicos olorosos.

La contaminación biológica del agua es perjudicial en operaciones industriales, al igual que en el agua potable. Un ejemplo de ello es cuando en los tubos de los condensadores y enfriadores se desarrollan organismos productores de limo, éstos dificultan la transferencia de calor, o bien, afectan la calidad obtenida en el proceso de producción del papel. El calor es una importante causa de contaminación. En algunas corrientes, los aumentos de temperatura han reducido considerablemente el valor del agua como medio de enfriamiento industrial, han disminuido su capacidad para asimilar desechos y han destruido la vida acuática.

EFFECTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CONTAMINACIÓN (HERNÁNDEZ)

Principales categorías de contaminación		Categorías generales de efectos causados			
		Daños a los recursos vivientes	Peligros para la salud humana	Impedimentos para riego e industria	Reducción de los lugares de distracción
Desague de aguas residuales domésticas (incluyendo los desperdicios de la elaboración de alimentos)	Microbiana directa	—	XX	—	X
	Microbiana indirecta	—	XX	X	—
	Eutrofización y procesos afines	XX	X	X	XX
Productos de desecho industriales	Metas pesados	X	XX	X	—
	Petroquímicos	—	X	X	—
	Acetes, etc.	—	—	X	XX
	Desperdicios de la fabricación de pasta y papel	XX	—	—	X
	Plaguicidas	X	XX	—	—
	Detergentes	X	—	—	X
	Sustancias radioactivas	—	XX	X	—
	Calor	X	—	X	—

	Objetos sólidos	—	—	X	X
	Materias extraídas en el dragado	X	—	X	—
Actividad	Abonos	X	X	—	—
Agrícola	Pesticidas	X	XX	—	—

X Categoría general de efectos más frecuentemente asociados con esta clase de contaminación.

XX La categoría más importante de los efectos del tipo concreto de contaminación.

II.2.2 IMPUREZAS EN LAS AGUAS

Las aguas de los mares, lagos y ríos tienen impurezas no incluidas dentro del concepto de contaminación, ya que al atravesar como precipitación las nubes y la atmósfera y al escurrir por el suelo o a través de él, han incorporado elementos o partículas que dan origen a lo que se entenderá como impurezas del agua.

IMPUREZAS EN LAS AGUAS RESIDUALES (HERNÁNDEZ)

CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS POR EL TAMAÑO						
ORÍGEN	Suspendidas >2*10 ⁻⁴ mm	Coloidales <2*10 ⁻⁴ mm	Disueltas			
			>4*10 ⁻⁶ mm		<4*10 ⁻⁶ mm	
Atmósfera	Poivos	Hollin	Moléculas de CO ₂ , SO ₂ , O ₂ , N ₂	CO ₂	Iones positivos H ⁺	Iones negativos HCO ₃ ⁻
Suelo mineral y piedra	Arena Arcillas Partículas de tierra mineral	Arcillas			Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺	Cl ⁻ , F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻

Organismos vivos y sus productos de descomposición	Algas Diatomeas bacterias. protozoos. Tierra orgánica (capa superior) Peces y otros organismo.	Virus de materia colorante orgánica	CO ₂ . N ₂ . CH ₄ . Residuos orgánicos varios, algunos de los cuales producen olor y color.	O ₂ . H ₂ S.	H ⁺ . NH ₄ ⁺	Na ⁺ .	Cl ⁻ . HCO ₃ ⁻ . NO ₃ ⁻
--	---	-------------------------------------	---	---------------------------------------	--	-------------------	---

II.2.3 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua para usos industriales

El agua es relativamente pura cuando se forma en las nubes; pero durante su caída en forma de lluvia o nieve absorbe gases del aire, sobre todo oxígeno y dióxido de carbono. Al llegar a la tierra, el agua disuelve materiales con los que entra en contacto.

La cantidad de materia disuelta depende de la solubilidad del suelo o las rocas de la zona y del tiempo en que el agua está en contacto con el medio de la tierra. El agua se contamina también con desechos industriales, municipales y agrícolas.

Factores generales de calidad

La concentración total de sólidos disueltos, así como la concentración de los constituyentes más importantes, determina si el agua es apropiada para aplicaciones industriales específicas. La dureza también es un factor importante. Generalmente las aguas superficiales son más suaves y están menos concentradas que las subterráneas; sin embargo, la dureza y los sólidos disueltos

en las aguas superficiales varían mucho durante el año y en muchas corrientes lo hacen de un día a otro. Las aguas superficiales suelen ser turbias, algunas lo son en forma excesiva con algunas excepciones, deben filtrarse antes de utilizarlas para los abastecimientos públicos o en la industria.

En una corriente dada, la dureza y la concentración de sólidos disueltos varía casi siempre en razón inversa al volumen de agua descargada. Esto se debe a que la proporción del agua subterránea que, por lo general está más concentrada que la superficial; es mucho menor en los períodos de flujo abundante que en los de flujo escaso.

Las aguas subterráneas se caracterizan por una composición y temperatura básicamente constante y, por lo general, se pueden utilizar sin necesidad de filtrarlas. Normalmente son más duras y contienen más minerales disueltos que las superficiales, y por ende, son menos apropiadas para ciertos fines industriales.

Dureza

En muchas industrias, la dureza constituye la base principal para clasificar las aguas que reciben. De acuerdo con la norma ASTM D1129 las definiciones de términos relacionados con el agua industrial y el agua industrial de desecho, la dureza del agua es una característica que se expresa como la concentración total de calcio y magnesio. Aunque otros constituyentes como el hierro, manganeso, y otros cationes polivalentes también contribuyen a la dureza, casi siempre tienen concentraciones tan pequeñas que en realidad no afectan la dureza del agua industrial. Esto implica que el término dureza sólo se refiera al calcio y al magnesio.

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

Este tipo de dureza es más difícil y costosa de eliminar. Cualquier clasificación descriptiva o numérica de la dureza del agua es arbitraria. Es muy probable que un agua se clasifique como dura en una zona y que se le considere suave en otra, sin embargo, los rangos más aceptados son los siguientes:

Rango de dureza mg/L (ppm)	Clasificación descriptiva
1 — 60	Suave
61 — 120	Moderadamente dura
121 — 180	Dura
180 →	Muy dura

La concentración de sulfatos varía mucho en aguas naturales. El sulfato puede derivarse del lixiviado de los depósitos de yeso, anhidrita y esquisto, o de la oxidación de los sulfuros. Las aguas de regiones áridas o semiáridas, pueden contener cantidades relativamente grandes de sulfatos. Cuando el sulfato se combina con el calcio, forma escamas que originan graves problemas en los intercambiadores industriales de calor y son difíciles de eliminar.

La alcalinidad del abastecimiento de agua casi siempre indica que ésta contiene el ion bicarbonato, HCO_3^- , aunque también puede tener carbonatos, CO_3^{2-} , y en caso de que reciba ciertos desechos alcalinos, el hidróxido, OH^- .

La alcalinidad del agua usualmente se debe a la presencia de carbonato de calcio, CaCO_3 . Prácticamente todas las aguas naturales tienen alcalinidad, a menos que se neutralicen mediante el ácido de efluentes industriales o por los drenajes de minas. La alcalinidad se relaciona con la capacidad amortiguadora o tampón del agua; es decir, la capacidad que tiene el agua para recibir el ácido sin reducir sustancialmente su pH. No obstante, esto puede ocasionar problemas en ciertos procesos industriales.

El cloruro se encuentra en todas las aguas naturales en concentraciones muy variadas. Por ejemplo: en la costa del Atlántico, la zona este de la costa del Golfo de México y en el noreste del Pacífico, por lo general, contienen menos de 25 mg/L de cloruro, excepto en la zona de mareas o en sitios contaminados. Las corrientes de regiones áridas o semiáridas pueden contener varios cientos de mg/L de cloruro. El agua de mar contiene más o menos 19 000 mg/L de cloruro y otras aguas salobres llegan a contener concentraciones aun mayores.

Las concentraciones de cloro inferiores a 50 mg/L no tienen efectos perjudiciales en la mayoría de la aplicaciones industriales, y los abastecimientos de agua con concentraciones mayores se utilizan sin grandes problemas. Las aguas con alto contenido de cloruros aceleran la corrosión en la superficie de metales.

Los requisitos de agua industrial deben establecerse con sumo cuidado, considerando la cantidad y la calidad del agua que pueda obtenerse en el lugar que esté situada la planta. Si el agua disponible no tiene la calidad apropiada, el costo de su acondicionamiento debe sopesarse teniendo en cuenta los costos de utilizar fuentes de agua o de cambiar la ubicación de la planta.

La reutilización del agua se está practicando ampliamente en la industria hoy en día. Sin duda seguirá ampliándose a medida que una porción cada vez más grande de agua disponible se utilice en aplicación industrial. La industria debe aprovechar de manera más eficiente posible los recursos acuíferos disponibles y cuidar de que se reduzca lo menos posible la calidad de las aguas para devolverlas al sistema hidrológico.

El agua es esencial para la mayoría de las industrias y cada vez se reconoce más el valor que tiene. Toda industria requiere conciencia de la necesidad de vigilar el uso del agua y de la calidad que se requiere en cada caso. Nunca se terminarán de descubrir nuevas aplicaciones del agua en la industria ni disminuirá la importancia de sus usos actuales.

Análisis del agua para uso industrial y del agua de desecho industrial

La calidad del agua depende tanto de la fuente de la que proviene como del uso al que se destine. El agua de desecho de un proceso industrial puede ser la fuente de abastecimiento de otro. Antes de poder controlar la calidad del agua, se debe conocer los diferentes aspectos que caracterizan a las propiedades químicas y físicas de las posibles fuentes de agua, así como los requisitos exactos que deben satisfacer el líquido que se utilizará en un determinado proceso. En consecuencia, es necesario elaborar un programa detallado para la evaluación de los contribuyentes que se encuentran en el agua de abastecimiento.

El libro de normas de la ASTM (Book of ASTM Standard), en su parte 23, presenta una gran variedad de métodos analíticos que se usan para determinar los diferentes constituyentes y las características de importancia en la evaluación de la calidad del agua. Incluye una sección que describe los campos en que se

aplica dicho método y un conjunto detallado de instrucciones para efectuar las pruebas; teniendo por objeto proporcionar al analista las pautas que ayuden a seleccionar el mejor método para la determinación de cada constituyente en particular y para interpretar debidamente los resultados de los análisis en relación con el sistema de agua que se investiga.

Para lograrlo se estudia:

- 1) La importancia de que el programa de análisis esté bien definido y sea sistemático,
- 2) La fuente de abastecimiento del agua,
- 3) Los métodos de muestreo para los diferentes constituyentes,
- 4) La base de selección de los métodos de prueba con que se logran los resultados deseados,
- 5) La verificación cruzada de los datos analíticos,
- 6) La interpretación de los resultados según el uso final del agua.

El apartado D1192 nos habla de las especificaciones del equipo para muestreo de agua y vapor industriales, mientras que el D860 nos indica el muestreo de aguas para calderas y el D510 del muestreo de agua para uso industrial.

El apartado D1066 nos hace referencia del muestreo de vapor, el D887 muestreo en el campo de depósitos formados por el agua y el D1496 muestreo de aguas industriales homogéneas de desecho.

Todos estos apartados abarcan desde la selección de válvulas, adaptadores y equipos, hasta los métodos de muestreo de aguas específicas tales como vapor y agua para calderas. El método D510 analiza el muestreo del agua para uso industrial e incluye una lista de los volúmenes de muestras requeridas para varias determinaciones. Cuando se establecen los procedimientos y los puntos de muestreo deben consultarse todos estos métodos así como también al efectuar el muestreo debe consultarse el método apropiado.

Son varios los factores que deben tomarse en cuenta cuando se selecciona un método analítico, incluyendo la sensibilidad requerida, las interferencias presentes y las variaciones de precisión y exactitud que se pueden tolerar. Incluso, debe tomarse en cuenta el historial del analista que va a efectuar las pruebas, ya que muchos procedimientos son satisfactorios sólo cuando los lleva a cabo una persona bien preparada.

II.2.4 ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA

Cada día mueren aproximadamente 30 000 personas por causa de enfermedades hídricas. En los países en vías de desarrollo, el 80 % de todas las enfermedades son de origen hídrico. Una cuarta parte de los niños que nacen en los países en vías de desarrollo mueren antes de cumplir cinco años, la gran mayoría por enfermedades hídricas. En cualquier momento, 400 millones de personas sufren gastroenteritis, 200 millones esquistosomiasis, 160 millones paludismo y 30 millones oncocercosis; todas estas enfermedades relacionadas con el agua, aunque también son importantes otros factores ambientales. En la siguiente tabla se puede observar las principales enfermedades que se relacionan con el agua.

TIPO DE RELACIÓN CON EL AGUA	ENFERMEDAD
Transmitida por el agua	Cólera
	Hepatitis infecciosa
	Leptospirosis
	Paratifoidea
	Tularemia
	Tifóidea
Por el agua o por el agua para el aseo personal	Disenteria amibiana
	Disenteria bacilar
	Gastroenteritis

Por el agua para aseo

Ascariasis
Conjuntivitis
Enfermedades diarreicas
Lepra
Sarna
Sepsis y úlcera de la piel
Tiña
Tracoma

Desarrolladas en el agua

Gusano de Guinea
Enquistosomiasis

Insectos vectores relacionados con el agua

Paludismo
Oncocercosis
Enfermedad del sueño
Fiebre amarilla

II.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS

II.3.1 MÉTODOS ANALÍTICOS

Los análisis cuantitativos se pueden efectuar por métodos gravimétricos, volumétricos o colorimétricos. Es posible determinar la presencia de ciertos constituyentes por medio de diferentes tipos de electrodos; además debido a las bajas concentraciones de las impurezas en el agua, el trabajo de laboratorio frecuentemente es microanalítico.

Análisis Gravimétricos

Depende del peso de los sólidos que se obtienen de la muestra por evaporación, filtración o precipitación. Para obtener estos pesos se necesita de un horno de

secado para eliminar la humedad de la muestra además de una balanza que pueda detectar hasta 0.0001 g. Este tipo de análisis se aplica para determinar:

- Sólidos totales y volátiles.
- Sólidos en suspensión.
- Sólidos disueltos.

Análisis Volumétrico

Es una técnica que depende de la medición de volúmenes de un reactivo líquido de concentración conocida y para realizar un análisis volumétrico necesitamos:

1. Una pipeta para transferir un volumen conocido de la muestra a un matraz cónico.
2. Una solución estándar del reactivo apropiado. Es recomendable hacer la concentración de la solución estándar para que 1 ml de la solución sea químicamente equivalente a 1 mg de la sustancia bajo análisis.
3. Un indicador para saber cuándo se alcanza el punto final de la reacción. Estos indicadores pueden ser electrométricos, de ácido-base, de precipitación, de adsorción y de óxido-reducción.
4. Una bureta graduada para la medición exacta del volumen de la solución estándar necesario para alcanzar el punto final.

Este tipo de análisis se realiza para determinar:

1. la alcalinidad o acidez
2. cloruros
3. la determinación de Winkler de oxígeno disuelto
4. DQO

Los indicadores que más se utilizan son:

- Fenolftaleína (rosa arriba de un pH 8.2, incolora por debajo de un pH 8.2).
- Naranja de Metilo (amarillo por encima de un pH 4.5 y púrpura por debajo de ese pH).
- El Nitrato de Plata con cromato de potasio como indicador de precipitación.
- Tiosulfato de Sodio con almidón como indicador de adsorción.
- Sulfato Amoniacal con ferroína como indicador de potencial de óxido-reducción.

Análisis Colorimétrico

Cuando se trata de bajas concentraciones para ser cuantitativo un método colorimétrico se basa en la formación de un producto completamente soluble con un color estable. La solución coloreada debe reaccionar en la forma indicada con las leyes siguientes:

Ley de Beer: la absorción de la luz aumenta proporcionalmente con la concentración de la especie absorbente.

Ley de Lambert: la absorción de la luz aumenta proporcionalmente con la longitud de la trayectoria de la luz.

Estas leyes se aplican a todas las soluciones homogéneas, y se pueden combinar entre ellas como:

$$A = \log (I_0/I) = abc$$

donde: **A** = absorbancia

I₀ = intensidad de la luz que entra en la muestra

I = Intensidad de la luz que sale de la muestra

a = constante característica de una solución particular

b = longitud de la trayectoria de luz en una solución

c = concentración de la sustancia absorbente en solución

El color producido se puede medir mediante métodos visuales e instrumentales.

Técnica de electrodo

El pH se mide por el potencial que produce un electrodo que se usa junto con un electrodo de calomel como referencia. La señal de salida del electrodo de pH se alimenta a un amplificador y luego a un medidor de pantalla digital. Existe un amplio surtido de electrodos de pH, incluyendo unidades combinadas de vidrio y de referencia, así como también unidades reforzadas especiales para uso en el lugar donde se obtuvo la muestra. El potencial de óxido-reducción se mide con una sonda de óxido-reducción con un electrodo de platino y un electrodo de calomel como referencia.

Los avances más frecuentes en la tecnología de electrodos han dado como resultado una gran variedad de electrodos, algunos de los cuales son muy útiles en el control de la calidad del agua. Probablemente el más útil de todos es el nuevo electrodo de oxígeno. Estos electrodos de OV vienen en varias configuraciones que usan celdas de plomo/plata, carbón/plata u oro/plata, formadas por una película de polieteno. El polieteno es permeable al oxígeno de modo que el oxígeno en la muestra entra en la celda y altera su potencial eléctrico de salida en proporción a la concentración de oxígeno.

Existen varios electrodos especificos para determinación de NH_4^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , Br^- , F^- , entre otros. Con estos electrodos se efectúan mediciones rápidas hasta de concentraciones muy bajas, pero son relativamente costosos y en algunos casos su estabilidad no es muy alta.

II.3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS

Los métodos de análisis que se utilizan para definir las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales, son los establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas y en ausencia de éstas son las señaladas en la publicación "Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater", preparada y publicada conjuntamente por la American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation de los Estados Unidos de América.

DETERMINACION DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La mayor parte de nuestras impresiones sobre la calidad de agua se basan en sus características físicas; esperamos que el agua sea clara, inodora e incolora. Aparte de los gases disueltos, todos los contaminantes en el agua contribuyen a la carga de sólidos. Los sólidos suspendidos o no filtrables de una muestra de agua de río se determinan por métodos gravimétricos utilizando un filtro de fibra de vidrio.

Nutrientes aportados por actividades humanas

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de las plantas y animales. Por esta razón a estos elementos se les conoce como nutrientes o bioestimulantes. Desde el punto de vista de calidad del agua son de interés el nitrógeno orgánico, el amoniaco, los nitritos, los nitratos, la urea y el nitrógeno

nitrógeno orgánico, el amoníaco, los nitritos, los nitratos, la urea y el nitrógeno gaseoso. Dentro de los fosfatos tenemos al fosfato trisódico, fosfato disódico, fosfato monosódico, fosfato diamónico, hexametáfosfato de sodio, tripolifosfato de sodio, polifosfato tetrasódico y fósforo orgánico. La concentración de fósforo en efluentes tratadas es de 10 a 20 mg/L.

pH

Es una medida de concentración de iones hidrógeno, y se define como $\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+])$. Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Su medición se realiza fácilmente con un pHmetro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles especiales, que por coloración, indican el pH. Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varía con ella. El pH es sumamente importante en la ingeniería sanitaria y ambiental, porque afecta a las reacciones químicas y a los sistemas biológicos.

DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

MATERIA ORGÁNICA

La presencia de materia orgánica en el agua es indeseable porque:

- puede producir olores,
- puede impartir olores y sabores,
- causa disminución del oxígeno disuelto en ríos y lagos,
- interfiere con los procesos de tratamiento,
- forma compuestos halogenados cuando se agrega cloro al agua con fines de desinfección.

PLAGUICIDAS Y AGROQUIMICOS

En general se agrupan en cuatro categorías principales con base en su estructura molecular:

- Organo clorados como aldrín, DDT.
- Organo fosforados como malatión, paratión.
- Carbamatos como carbil.
- Derivados de urea como fenurón.

DISOLVENTES PARA LIMPIEZA

Algunos de los compuestos orgánicos de esta categoría se sabe que son cancerígenos. Recientemente se han detectado en las aguas subterráneas en las proximidades de instalaciones industriales. Algunos de los más comunes son: acetona, benceno, alcohol etílico, heptano, tricloroetano.

TRIHALOMETANOS (THM)

Se ha descubierto que el cloro que se utiliza para la desinfección del agua y de las aguas residuales, puede reaccionar con algunas de las sustancias orgánicas presentes para formar cloroformo (un trihalometano) y otros hidrocarburos clorados.

Las sustancias orgánicas involucradas en la reacción con cloro se conocen como precursores. Se sospecha que son compuestos cancerígenos.

En general los THM se forman cuando elementos del grupo de los halógenos como cloro, bromo, yodo reaccionan con las sustancias orgánicas.

Los principales THM de interés en aguas residuales son:

- cloroformo
- bromodichlorometano
- clorodibromometano
- bromoformo

DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Los indicadores para identificar la contaminación biológica, son los organismos coliformes totales, coliformes fecales y los estreptococos fecales. Los más utilizados en México es la identificación de organismos coliformes por los métodos del número más probable o del filtro de membrana.

La presencia de coliformes totales indica contaminación en general, ya que muchos de estos microorganismos pueden ser de origen vegetal, animal o humano, por lo que se hace necesario continuar la prueba y determinar cuántos de los encontrados son de origen humano.

La presencia de coliformes fecales humanos o de estreptococos fecales no se utiliza para determinar la toxicidad de éstos, sino como indicador de contaminación por excreta humana, ya que las evacuaciones humanas siempre llevan bacterias patógenas procedentes de seres humanos enfermos o portadores asintomáticos de estas bacterias, es decir individuos que aunque no sientan síntomas de enfermedad en su intestino llevan las bacterias que pueden causar enfermedad, se considera que si se encuentran coliformes, puede contener organismos causantes de muchas enfermedades.

II.3.4 MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Una muestra es parte de un todo, y esta muestra representará las características de este todo, en el caso que nos ocupa este todo será el agua residual que se está caracterizando, en determinado punto de la planta, ya sea de producción o de tratamiento de aguas. La mayoría de las conclusiones, decisiones y acciones que se tomen en el diseño y/o en la operación de la planta de tratamiento, dependerán en gran medida, de los resultados de la muestra.

Generalmente, las muestras se definen e identifican por el tipo y método de muestreo. Una muestra puede ser de tipo simple o compuesta y puede ser colectada por un método manual y automático.

Una muestra simple es aquella que se toma en un instante en particular, y representa las condiciones existentes en ese momento, este tipo de muestras se requieren para determinar ciertos parámetros, como por ejemplo, pH, color residual, oxígeno disuelto, grasas y aceites y coliformes totales y fecales. Algunas de estas determinaciones como pH, color residual, temperatura y oxígeno disuelto, pueden monitorearse en forma continua usando sensores. El uso de estos instrumentos reducen el tiempo entre muestreo y análisis, además de ser precisos, sin embargo requieren de un programa periódico llevado por personal calificado, de limpieza, calibración y mantenimiento de los equipos utilizados.

Otras situaciones donde una muestra simple puede utilizarse es:

- Cuando el agua a muestrear no presenta variaciones considerables, en cuanto a sus características y al caudal!
- Cuando en la corriente en estudio o en la planta de tratamiento llega una descarga inusual, y a partir de esta muestra se trate de determinar el tipo y fuente de la descarga.

- Cuando el flujo de descarga de agua residual sea intermitente, por ejemplo en algunos procesos industriales.
- Cuando las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas, por ejemplo la temperatura.
- Y cuando las autoridades respectivas requieren que se determinen ciertos parámetros con muestras individuales.

El volumen mínimo de una muestra es de 1 a 2 litros.

Una muestra compuesta se forma por varias simples tomadas a diferentes tiempos. Estas muestras se obtienen mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y en el momento del muestreo.

Los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo en la composición de una muestra se pueden retardar si se almacena a baja temperatura, es decir, a 4^o C; también se recomienda no exponerla a la luz. Si se quiere evitar errores significativos, entre más contaminada esté el agua es más corto el tiempo disponible para la toma de muestras y el análisis.

TECNICAS DE MUESTREO

Muestreo para análisis fisicoquímicos. Se muestrea según sean las condiciones del lugar, sumergiendo el envase en el sitio de muestreo o si es necesario se puede utilizar algún muestreador y verter su contenido en la botella o directamente según el tipo de muestreador. Es importante que los recipientes estén totalmente limpios y procurar tomar las muestras a contracorriente para evitar adulterar la muestra con contaminantes externos a la descarga.

En el caso de descargas de aguas residuales que fluyan libremente, en forma de chorro, se toma la muestra directamente en la descarga. Si la descarga fluye en canales o colectores, se recomienda tomar la muestra en el centro del canal o colector, de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento, a fin de asegurar un buen mezclado. La elección de los puntos de muestreo está en función de los objetivos del estudio y la experiencia de quien lo realice.

Oxígeno disuelto. La toma de muestras para la determinación de oxígeno disuelto deberá efectuarse con cuidado evitando el burbujeo o agitación. En aguas poco profundas se puede muestrear directamente en una botella de boca angosta con tapón esmerilado. En el caso de muestrear a más de un metro de profundidad existen los muestreadores Winkler (específicos para oxígeno disuelto) y el Kemmerer, tomando las precauciones debidas para evitar burbujeos al introducir la muestra a la botella de 300 ml, donde se realizará el análisis. Es recomendable registrar la temperatura de la muestra lo más preciso posible en el momento de tomarla y efectuar el análisis inmediatamente, por lo menos fijar el oxígeno y después realizar la titulación con los reactivos químicos del método empleado.

Actualmente existen en el mercado medidores de oxígeno analógicos o digitales, que bien calibrados y tomando las precauciones adecuadas, permiten realizar las determinaciones de este parámetro

Grasas y aceites. Es muy importante cuidar que la muestra sea representativa, ya que una característica de las grasas y aceites es que se agrupan en la superficie de los cuerpos de agua, formando natas en determinadas zonas, por lo cual la muestra se toma a 20 ó 30 cm de profundidad, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.

Cuando el análisis no puede efectuarse inmediatamente, se conserva la muestra a un pH de 2 o menos adicionando 5 ml de HCl concentrado y refrigerándola a 4^o C. se recomienda no almacenarla por más de 24 horas.

Muestreo para análisis bacteriológico. Cuando se toma la muestra directamente, se procede de la manera siguiente: tomar la botella cerca de su base, aflojar ligeramente el tapón, sumergirla cerrada de 15 a 20 cm, con el cuello hacia abajo, colocándola finalmente en sentido contrario a la corriente para evitar que el agua que entre a la botella toque primero las manos, después se destapa la botella y se gira de modo que el cuello quede ligeramente más elevado que la base, se deja que se llene las 3/4 partes, dejando un espacio suficiente para facilitar el mezclado previo al análisis.

Identificación de las muestras y registro de campo. Después de coleccionar la muestra, es necesario tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificarlas. Se deben identificar con una etiqueta pegada o colgada, o numerar y anotar la fecha en los frascos con un material que no sufra alteraciones con el agua (marcadores comerciales) anotando la información en una hoja de registro.

En el caso de utilizar etiquetas, éstas deben ser de papel que no sufra alteraciones con el agua y llevar anotada con tinta indeleble la siguiente información:

- Identificación de la descarga
- Número de la muestra
- Fecha y hora del muestreo
- Análisis a efectuar
- Lugar de muestreo
- Persona que muestreo
- Profundidad

Durante el muestreo se debe llevar una hoja de registro con la suficiente información que permita identificar el sitio de la toma de la muestra, condiciones en que se efectuó el muestreo, observaciones, etc.

Esta hoja debe contener lo siguiente:

- Resultado de los análisis de campo realizados en el sitio
- Temperatura ambiental y del agua, gasto, pH
- Localización de la estación de muestreo
- Descripción cualitativa de olor y color de las aguas residuales al momento del muestreo
- Observaciones generales

Conservación de las muestras. Las técnicas de conservación de las muestras retardan durante cierto tiempo los cambios químicos y biológicos que se producen después de su toma. En general, mientras más corto sea el tiempo que transcurra entre la toma de la muestra y su análisis más confiables serán los resultados.

Transporte y almacenamiento de las muestras. Las muestras deben conservarse durante el muestreo en una hielera y transportarse al laboratorio debidamente etiquetadas o marcadas, acompañadas de su registro de campo.

En el laboratorio las muestras se conservan en refrigeración a 4° C, hasta habérseles efectuado los análisis correspondientes. Se recomienda que el tiempo de almacenamiento de las muestras para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos sea el mínimo posible y no exceda de los límites establecidos.

II.3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

Un estudio para conocer las características de las descargas de agua residual incluye diversas actividades como: inspección global del sistema de alcantarillado, localización de zonas residenciales, industriales y de servicio, localización de la o las descargas, medir las descargas, establecer los sitios de muestreo, coleccionar las muestras y analizarlas.

Para poder reconocer la zona de trabajo, es necesario contar con un plano de alcantarillado y en él localizar la o las descargas con sus cotas de la plantilla, localizar también los pozos de visita que se encuentran cerca de éstas, conocer los niveles tanto de plantilla como de terreno. Se deben localizar en el plano las principales industrias existentes en la población, con todos los datos de sus efluentes como gastos, análisis físico-químicos, tratamientos entre otros y horarios de funcionamiento. Localizar las zonas habitacionales y los establecimientos que hagan grandes aportaciones de aguas residuales como clubes, internados, baños públicos, entre otros.

Es importante también contar con los datos del sistema de agua potable como son el flujo de entrada, gasto real y variaciones del flujo para poder conocer el comportamiento promedio del abastecimiento de agua durante el día, semana, mes y de ser posible de todo el año, ya que estos nos señalarán el comportamiento del agua que escurre en los drenajes y en las descargas, datos que se requieren para el diseño de la planta.

Deberá hacerse un recorrido por las partes que se consideran importantes, entre ellas la o las descargas, los pozos de visita, y los lugares en que se tomarán muestras y se harán mediciones del caudal.

II.3.6 ESTIMACIÓN DE LAS DESCARGAS

Los valores específicos de utilización de agua potable son de gran importancia para el ingeniero de diseño, sobre todo en la planeación de plantas para tratamiento de aguas residuales. Dependiendo del país, el consumo específico de agua puede mostrar grandes variaciones. En Europa, por ejemplo, un valor común es de 200 L/H-d (ATV, 1985) y, en Estados Unidos de Norteamérica, el valor puede variar entre 350 y 700 L/H-d (Metcalf-Eddy, 1991), en México, el ingeniero sanitario utiliza valores entre 200 y 300 L/H-d. Considerando un consumo de agua potable de 200 L/H-d y, que del 75 % al 85 % del consumo se desecha como aguas residuales, se puede considerar que cada 1 000 habitantes producen 1.96 L/s de aguas residuales como promedio.

Se sabe, debido a numerosas mediciones, que los cambios de caudales son menos bruscos conforme aumenta el número de habitantes. Las poblaciones pequeñas muestran grandes variaciones entre los caudales del día y de la noche. Conforme aumenta el tamaño del sistema de captación de aguas residuales, la magnitud de los cambios es menor debido a la capacidad de almacenamiento del sistema de drenaje.

II.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

II.4.1 PARÁMETROS FÍSICOS , QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

II.4.1.1 PARÁMETROS FÍSICOS

Sólidos Totales

Es el material que arrastran las aguas residuales. Desde el punto de vista analítico los sólidos totales se definen como el residuo que permanece después de haber evaporado el agua entre 103 y 105° C. Los sólidos totales se clasifican como sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables, éstos son una medida aproximada de la cantidad de lodo que será removida por sedimentación.

La fracción de sólidos filtrables consiste en sólidos coloidales. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación, comprenden partículas del tamaño de iones y moléculas que pasan por un filtro menor de 10 micras (10^{-2} mm). Generalmente, después de la oxidación biológica o coagulación, donde la fracción orgánica se oxida, convirtiéndose en gas y la inorgánica permanece como ceniza, sigue la sedimentación, necesaria para remover estas partículas de la suspensión.

Temperatura

Es una medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua residual, usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua de abastecimiento, ya que recibe calor por los usos.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante, debido a su efecto sobre la vida acuática, tanto de la flora como de la fauna, afecta también la transferencia de gases y las reacciones químicas y la rapidez de reacción. Por ejemplo, los incrementos de temperatura pueden causar cambios en las especies de peces existentes en el agua.

El incremento en la rapidez de reacción bioquímica va acompañada de un incremento de temperatura, combinada con la disminución en la cantidad de oxígeno presente en las aguas superficiales que frecuentemente causan serias disminuciones en las concentraciones de oxígeno disuelto en los meses de verano. En conclusión el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría y también se aumenta la velocidad de degradación de los compuestos orgánicos.

Las temperaturas muy altas pueden fomentar el crecimiento de especies indeseables de plancton y hongos a los cuales los limitan las bajas temperaturas y que podrían incrementar tiempos de tratamiento o el tamaño de la planta de tratamiento.

Color

El color de las aguas es generalmente una indicación de su edad, las aguas negras frescas son usualmente grises; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son digeridos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el desecho se reduce a cero y el color cambia a negro, produciendo ácido sulfhídrico y metano. En estas condiciones se dice que el desecho presenta condiciones sépticas. Algunos desechos industriales pueden impartirle color a los desechos domésticos, por ejemplo en la industria textil, celulosa y papel, petrolera y petroquímica.

Olor

Los olores son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica por la actividad microbiana aerobia, por compuestos industriales y por las reacciones de los componentes cuyo tratamiento es por procesos químicos. Los desechos frescos tienen un olor distintivo algo desagradable, menos molesto que los olores sépticos de los desechos. El olor característico de un desecho es debido al sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios, los cuales reducen los sulfatos a sulfuros, las aguas de desechos industriales pueden contener compuestos olorosos o que producen olor en el proceso de tratamiento del desecho.

Turbiedad

El término turbiedad se aplica a aguas que contienen materia suspendida, que interfiere con el paso de la luz a través del agua. La turbiedad es causada por una amplia variedad de materia suspendida, que varía en tamaño a dispersiones ordinarias. La materia coloidal absorbe o dispersa la luz, evitando su transmisión.

II.4.1.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

PARÁMETROS QUÍMICOS ORGÁNICOS

Materia Orgánica

Los compuestos orgánicos son combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno además del nitrógeno que puede estar presente en algunos casos. Las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sintéticos, ejemplos típicos son: surfactantes, fenoles y pesticidas agrícolas. La presencia de estas sustancias en los últimos años, ha complicado los sistemas de tratamiento

de las aguas residuales, debido a que gran parte de ellos no son biodegradables o son muy lentamente descompuestos por los sistemas biológicos de tratamiento.

La materia orgánica presente en las aguas residuales es de origen animal, vegetal y compuestos sintéticos orgánicos creados por el hombre. Los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales domésticas son proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %), y grasas y aceites (10 %)

La presencia de materia orgánica biodegradable en los cuerpos receptores reduce la cantidad de oxígeno. Para facilitar la detección de la materia orgánica usualmente se recurre a medir parámetros indirectos como son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (TOC).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO_5 , o demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, es el parámetro más usado para estimar el grado de contaminación orgánica en el agua. Su determinación implica medir la variación del oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica

La DBO del agua residual nos da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica mediante un tratamiento biológico, este parámetro se emplea además para medir la eficiencia del tratamiento y en general la DBO es un índice importante de la calidad de los cuerpos de agua, aunque la prueba para su determinación puede durar varios días, lo más común es tenerla a los cinco días y se indica como DBO_5

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es otro parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica. El procedimiento se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica mediante un oxidante químico fuerte, tal como el dicromato de potasio, en medio ácido, alta temperatura y en presencia de sulfato de plata como catalizador.

La DQO es usualmente mayor que la DBO, ya que son oxidados químicamente una mayor cantidad de sustancias que en la forma bioquímica. Para muchos tipos de desechos la DQO se relaciona con la DBO; cuando se trata de desechos domésticos típicos la DQO es de 1.2 a 1.5 veces mayor que la DBO.

Carbono orgánico total (TOC o COT)

El contenido de carbono orgánico total es también una medida indirecta del contenido de materia orgánica. Su determinación se realiza mediante la combustión catalítica de muestras en un horno a alta temperatura y se mide el bióxido de carbono producido que es proporcional a la cantidad de carbono presente en la muestra. El contenido del bióxido de carbono se determina por espectrofotometría de infrarrojo.

Grasas y Aceites

El término grasa comúnmente usado, incluye a las grasas, aceites, parafinas y otros constituyentes afines encontrados en los desechos. Los glicéridos, ácidos grasos que son líquidos a temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. éstos son similares químicamente y están formados de carbono, hidrógeno y oxígeno en varias proporciones.

El queroseno, los aceites lubricantes (derivados del petróleo), y el alquitrán de hulla, se encuentran en las aguas negras en gran cantidad. Gran parte de las partículas de grasas y aceites que se encuentran en las aguas de desecho flotan, formando una capa que tiende a cubrir la superficie e interfiere con la acción biológica, causando además problemas de mantenimiento

Surfactantes

Los surfactantes o agentes de superficie activa son moléculas orgánicas muy grandes, ligeramente solubles en agua y causan la formación de espuma en la superficie del agua donde el desecho es vertido. Su capacidad para formar espuma hace que interfiera en el proceso de todos activados de la planta de tratamiento de aguas negras.

Fenoles

Los fenoles y otras trazas de compuestos son también constituyentes importantes del agua. Los fenoles causan problemas de olor en el agua potable, particularmente cuando el agua está clorada. Estos compuestos provienen principalmente de operaciones industriales y se encuentran en las aguas superficiales debido a descargas de este tipo.

Los fenoles pueden ser oxidados biológicamente hasta concentraciones de 500mg/L.

PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS

La presencia y concentración de estas sustancias puede afectar a los organismos de las aguas receptoras por medio de limitantes del crecimiento o características tróficas. Las algas y plantas macroscópicas son capaces de utilizar las inorgánicas como sustrato en su metabolismo. Los elementos que mayormente utilizan como metabolitos inorgánicos son carbón, nitrógeno amoniacal y fósforo.

El carbono, nitrógeno y fósforo están presentes en las aguas naturales, en forma disponibles para la vida de las plantas. En la mayoría de las aguas naturales, el fósforo está presente en bajas concentraciones, menor que el nitrógeno o el carbono. El fósforo sin embargo, se necesita en pequeñas concentraciones para sustentar el crecimiento de las algas. Se han reportado crecimiento indeseable de algas cuando los niveles de fósforo inorgánico se encuentran en los intervalos de 0.01 a 0.05 mg/L. Se requiere de nitrógeno en mayores concentraciones que el fósforo para el crecimiento de algas. Dependiendo de las condiciones de la corriente, el carbono inorgánico, nitrógeno o el fósforo puede ser el factor limitante para el crecimiento de algas. Es necesario un estudio cuidadoso del balance de nutrientes y la vida vegetal en los cuerpos de agua, es necesario determinar cual nutriente puede ser removido de las descargas de aguas residuales para retardar en forma más efectiva el crecimiento de las algas.

Materia Inorgánica

Los componentes inorgánicos de las aguas naturales y desechos son importantes para establecer y controlar la calidad del agua. La concentración de sustancias inorgánicas en el agua se incrementa con la formación geológica con la cual el agua se pone en contacto y por las aguas de desecho tratadas o no, que se descarguen en ella. Las aguas naturales disuelven las rocas y minerales con las que está en contacto, las aguas de desecho, con excepción de algunos desechos

industriales, rara vez son tratadas para removerles los constituyentes inorgánicos que se agregan en su uso diario, las concentraciones de los constituyentes inorgánicos también se incrementan por los procesos naturales de evaporación. Estos decrementos deterioran la calidad de las aguas naturales, por tanto es conveniente examinar el origen de éstos.

Gases Comunes Encontrados en las Aguas Residuales

Los gases encontrados comúnmente en las aguas de desecho no tratadas son el nitrógeno, oxígeno, amoníaco y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, los últimos tres se originan de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas de desecho. No obstante, no encontrarse en aguas de desecho no tratadas, el cloro y el ozono (desinfección y control de olores) y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión) son muy usados en la ingeniería ambiental. En algunos casos, el amoníaco está presente en las aguas de desecho y debe tenerse en cuenta.

pH

Es la medida de la acidez o basicidad del agua. Los valores de pH mayores de 7.5 y menores de 6.5 afectan a los organismos involucrados en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Alcalinidad

Es la medida del contenido de iones hidroxilo, bicarbonatos y carbonatos. Su efecto es limitante de la actividad biológica.

Nitrógeno amoniacal

Es un nutriente biológico e interviene en el metabolismo bacteriano.

Nitratos

Son nutrientes biológicos

Fosfatos

Son nutrientes biológicos.

Metales pesados

Indican contaminación industrial. Afectan el metabolismo microbiano por ser tóxicos.

Oxígeno disuelto

Es una medida de la actividad biológica. Se requiere para la respiración de organismos aerobios, de importancia en el tratamiento de aguas residuales.

II.4.1.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS

La mayoría de las aguas naturales contienen una gran cantidad de microorganismos que forman un sistema ecológico balanceado. Estos organismos se relacionan con la calidad del agua y otros factores ambientales. En el tratamiento de aguas residuales de naturaleza orgánica, los microorganismos tienen un lugar muy importante y la mayoría de las especies que se encuentran en el agua natural y en el agua residual son inocuas para el hombre. Sin

embargo, algunos de estos microorganismos provocan varias enfermedades y su presencia en el agua representa un problema de salud.

Bacterias

Son organismos unicelulares microscópicos cuyo tamaño varía de 0.5 a 6 micras, que se alimentan con material orgánico e inorgánico soluble. Conforme a la temperatura, las bacterias pueden ser criófilas, mesófilas y termófilas, el rango en que mejor funcionan se encuentra entre 12 y 18 °C para las primeras, de 25 a 40 °C para las segundas y 55 a 65 °C para las terceras.

En función del metabolismo, las bacterias se clasifican en autótrofas y heterótrofas, si la fuente de carbón proviene de sustancias inorgánicas son autótrofas y si son de materia orgánica son heterótrofas.

A su vez dichas bacterias pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas, en función de las necesidades de oxígeno para su respiración, así las aerobias requieren oxígeno, las anaerobias no, y las facultativas viven en una u otra condición.

Las bacterias del grupo coliforme y los estreptococos fecales son los indicadores de contaminación bacteriológica del agua. Se le llama un indicador a un organismo que por su presencia demuestra que ha ocurrido la contaminación.

II.4.2 OPERACIONES UNITARIAS FÍSICAS

Las operaciones unitarias físicas son: el desbaste, el desarenado, mezclado, floculación, sedimentación, elutriación, filtrado por vacío, secado, desengrasado y flotación. Todos estos son caminos alternativos para dar un tratamiento inicial sin

la presencia de reacciones o seres vivos en actividad. Este tratamiento es importante ya que de él depende la vida de los equipos y los tratamientos posteriores debido a que son delicados y se pueden tener taponaduras y obstrucciones por partículas de gran tamaño.

El desbaste, es la primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales. El propósito es remover sólidos gruesos como papel, trapos, madera y plásticos, entre otros, ya que si no se eliminan pueden dañar el equipo de bombeo y el de concentración de lodos, atorarse sobre los aereadores mecánicos, bloquear tuberías, boquillas, creando serios problemas de operación y mantenimiento.

Esta operación se efectúa haciendo pasar la corriente por rejillas o tamices con el fin de retener dichos materiales.

El **desarenado**, como su nombre lo indica es la separación de arenas y materiales más pesados que la materia putrescible contenidas en la corriente y que pueden causar taponaduras o la disminución de la velocidad de la corriente. De esta forma se protegen las bombas y otros equipos de desgaste debido a la abrasión. Este se realiza haciendo pasar la corriente en canales de mayor diámetro para disminuir la velocidad del flujo (0.3 m/s) y hacer que las partículas pesadas se depositen en el fondo, y mantener en suspensión los sólidos orgánicos ligeros e inorgánicos finos (menores de 0.2 mm). Los desarenadores pueden ser de flujo horizontal, aereado y tanques de sección cuadrada.

El **mezclado**, se realiza para algunos casos donde no se tengan corrientes homogéneas o cuando se necesite introducir oxígeno a nuestra corriente. Esta operación se realiza en tanques con flujos turbulentos con ayuda de agitadores mecánicos.

Floculación, se utiliza para aumentar el contacto entre las partículas con el fin de que éstas formen floculos y así sedimenten con mayor facilidad, esto se hace con agitación moderada para no romper dichos floculos.

Sedimentación, es la separación de partículas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. Para este fin se pueden utilizar decantadores estáticos o dinámicos.

Elutriación, consiste en poner en contacto íntimo un sólido y un líquido, con otro líquido a fin de transmitir ciertos componentes de aquél al último mediante un tanque único o tanques múltiples.

Filtración por vacío, se realiza en tambores cilíndricos donde se depositan los lodos y se gira generando vacío hasta filtrar todo contenido de dicho tambor y eliminar los lodos a un mínimo.

Secado, se realiza mediante la evaporación del líquido y se basa en la diferencia de la presión de vapor. Estos equipos disponen de calor adicional para aumentar la capacidad de retención de vapor del aire ambiente y proporcionar así calor latente de evaporación. Se pueden utilizar secadores instantáneos, de rociado, rotatorios (calentamiento directo e indirecto) o incineradores.

Desengrasado, se hace aprovechando la menor densidad de aceites y grasas; se reduce la velocidad de la corriente y se elimina por decantación la capa grasosa de la superficie mediante separadores de grasas o cámaras de grasas Kramer o Imhoff.

Flotación, Se puede realizar la flotación con aire a presión permitiendo separar partículas sólidas o líquidas de baja densidad, de la fase líquida. La separación se logra introduciendo burbujas de un gas en la fase líquida (usualmente aire). La fase líquida se presuriza entre 2-4 atm, en presencia de suficiente aire para lograr

la saturación de aire en el agua. Entonces el líquido saturado de aire se despresuriza a la presión atmosférica mediante una válvula reductora de presión y pequeñas burbujas de aire se liberan de la solución debido a la despresurización. Los sólidos suspendidos o las partículas líquidas, como el aceite, flotan por el efecto de las burbujas de aire y debido a la fuerza ascendente llegan a la superficie del tanque.

II.4.3 PROCESOS BIOLÓGICOS

Se busca en ellos una doble acción, la metabólica y la floculación de las partículas en suspensión. Los procesos convencionales son:

- a) Tratamiento aerobio
- b) Tratamiento anaerobio
- c) Tratamiento aerobio-anaerobio

Los procesos anteriores de tratamiento de las aguas deben complementarse con un proceso de tratamiento de lodos, donde aparecerán los elementos retirados de las aguas.

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y la eliminación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

Los procesos biológicos se pueden clasificar según la dependencia de oxígeno por parte de los organismos responsables de los tratamientos de los residuos. En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue mediante microorganismos aerobios y facultativos; en los procesos anaerobios se utilizan los microorganismos anaerobios y facultativos. Cuando se encuentran presentes los tres tipos de microorganismos, a los procesos se les llama aerobio-anaerobio o facultativos.

a) Tratamiento aerobio de aguas residuales

Los procesos aerobios se llevan a cabo en presencia de oxígeno molecular disuelto. Durante la biodegradación, el oxígeno es consumido por los microorganismos para sintetizar el material celular y producir la energía necesaria para el metabolismo.

Los procesos aerobios que se considerarán son:

a.1) Fangos o lodos activados

El fundamento del sistema es la remoción de los sólidos sedimentables y sometiendo durante algún tiempo, a la inyección o mezcla de aire finamente dividido, de producir la coagulación de aquellas sustancias en suspensión que, por su estado, son incapaces de sedimentar solas, coagulación que determina su sedimentación. Existe una generación de lodos.

Los efectos producidos por el sistema son: coagulación, sedimentación, arrastre de bacterias en un 90-98%, estabilización de la materia orgánica y oxidación de la materia carbónica.

Las técnicas de aireación pueden dividirse en tres grupos: con aire comprimido bajo formas diversas, con medios mecánicos y con medios mixtos.

Las ventajas del sistema de fangos activados son: la fauna de los fangos activos se reduce a la acción de microorganismos sin forma de vida superior, y constituyen una masa homogénea; la masa microbiana se controla purgando; versatilidad, ya que sus parámetros pueden ser controlados; no existen insectos en la superficie; se consigue una mineralización de la materia orgánica; se consigue la oxidación de las sustancias químicas, tal como la nitrificación y puede conseguirse la reducción de compuestos orgánicos peligrosos.

Los inconvenientes del sistema de fangos activados son: es más sensible a la oscilación de cargas contaminantes, de caudal y tóxicos; el consumo energético es importante; influyen las bajas temperaturas y es del orden de un 20 a un 40% más caro que los lechos bacterianos.

LODOS ACTIVADOS

Proceso convencional

Los procesos de lodos activados se utilizan tanto para tratamiento secundario como tratamiento completo de las aguas residuales sin sedimentación primaria. En estos procesos los desechos líquidos son alimentados continuamente a un tanque aereador, es decir, el reactor, en el que se encuentra el cultivo de los microorganismos (lodos activados), en su mayoría bacterias en suspensión, las cuales en su conjunto se les conoce como "licor mezclado" los que metabolizan y flocculan biológicamente los compuestos orgánicos. El medio ambiente aerobio, así como la mezcla del sustrato (agua residual influente) y microorganismos (sólidos suspendidos volátiles) se mantiene mediante el uso de aireación mecánica o inyección de aire mediante sopladores. Después de un determinado tiempo de retención el licor mezclado pasa a un tanque de sedimentación, donde se lleva a cabo la separación de microorganismos en forma de flóculos (flocs) del agua, la cual sale por la parte superior del tanque, terminando aquí el proceso de tratamiento del "tren de agua". Una parte de la biomasa sedimentada es retornada al tanque de aireación para mantener una concentración deseada de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado y la otra es retirada del sistema como lodo de desecho.

En el proceso de lodos activados, la bacteria es el microorganismo de mayor importancia, ya que ésta es responsable de la descomposición de la materia orgánica en el influente. En general las bacterias en el proceso son gram-negativo

e incluyen miembros de los géneros Pseudomonas, Zooglea, Achromobacter, Flavobacrium, Nocardia, Bdellovibrio, Mycobacterium y las bacterias nitrificantes Nitrosomas y Nitrobacter. También es importante que las bacterias se agrupen en un flóculo adecuado que pueda sedimentarse fácilmente. Se ha observado que a medida que el tiempo de retención celular se incrementa, la carga superficial de los microorganismos se reduce

El sistema convencional es muy eficiente aunque presenta dos problemas. El primero relacionado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque donde se observa que las mayores demandas se presentan al inicio del tanque de aireación disminuyendo sensiblemente hacia el final cuando se alcanzan las mínimas concentraciones de comida remanente. Esto ocasiona en algunos casos el agotamiento de oxígeno disuelto en parte de los tanques y un desperdicio de energía al final de los mismos.

El segundo problema es cuando las aguas tienen influencia industrial; ya que concentraciones de elementos tóxicos entran en contacto con un pequeño volumen de licor mezclado resultando en muchas ocasiones niveles suficientemente altos para provocar la muerte de los microorganismos.

a.2) Filtros percoladores o lechos bacterianos

Los lechos bacterianos son un sistema de depuración biológica de aguas residuales en el que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual. La circulación de aire se realiza de forma natural o forzada, generalmente a contra corriente del agua.

Sus ventajas son: no necesita muros impermeables como los fangos activados, muros que encarecen la construcción; hay posibilidad de establecer aireación adecuada por diversos medios, que permitan adaptar en las mejores condiciones

posibles, los fenómenos de depuración por vía aerobia a las características del effluente a tratar; continuidad, estableciendo los dispositivos adecuados para el vertido sobre el lecho, y los dispositivos de evacuación de las aguas de salida, además de una recirculación de agua.

Tanto en los lechos bacterianos como en los fangos activados, se emplean cultivos biológicos para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables. Se obtiene así un mayor rendimiento que el alcanzado por una sedimentación primaria, y por una depuración de tipo químico.

Aunque los lechos bacterianos y los fangos activados se basan en la acción de los microorganismos aerobios, para llevar a cabo la descomposición, existen entre ellos una diferencia operacional. En los lechos, los organismos están adheridos al medio de fijación y en ellos se recibe el material orgánico a transformar. En cambio, en el proceso de fangos activados son los organismos los que buscan la materia orgánica de las aguas negras. En ambos casos, el éxito de la operación estriba en mantener las condiciones aerobias, que son necesarias para el ciclo vital de los organismos, y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan. La materia orgánica es el alimento que sustenta a estos microorganismos, y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación, como por una alimentación deficiente o no equilibrada.

a.3) Biodiscos y biocilindros

Los biodiscos y los biocilindros se integran dentro de los procesos biológicos realizando una misión similar a la de los lechos estáticos. El proceso es válido como elemento reductor de la materia orgánica, como elemento de nitrificación y elemento de desnitrificación. Su funcionamiento se puede describir de la siguiente forma: los biodiscos o biocilindros se sumergen parcialmente (40%) en las aguas

residuales a tratar y, girando a baja velocidad, exponen alternativamente al aire y al agua empezando a desarrollarse una película biológica sobre su superficie.

Cuando por la rotación una sección de los tambores sale del agua, arrastra consigo parte del agua misma que goteando forma una fina película líquida, y por lo tanto, con una elevada posibilidad de contacto y de intercambio con el oxígeno del aire. El crecimiento biológico aumenta hasta alcanzar un espesor de 0.2 a 0.3 mm.

Por efecto de los procesos biológicos y por efecto de la velocidad del agua durante la rotación, se produce el desprendimiento de capas de la película, formando flóculos en suspensión en el líquido. Estos flóculos se separan posteriormente por sedimentación. En cuanto se realiza la separación, empieza inmediatamente un nuevo biocrecimiento de la biopelícula o biofilm.

Los biodiscos y biocilindros se diferencian de los lechos bacterianos en que el soporte normalmente está fijo, guardando distancias fijas entre los discos. En los biocilindros, el tambor está constituido por un elemento como contenedor de elementos sueltos.

a.4) Estanques estabilizadores aerobios

Otros procesos de tratamiento aerobio comprenden las lagunas aereadas y los tanques de estabilización mecánica fotosintéticos y de aereación. En las lagunas aereadas se utiliza una aereación por medios mecánicos para proporcionar oxígeno a las bacterias, por lo que el proceso es substancialmente el mismo que el de lodo activado sin recirculación. En los estanques aerobios fotosintéticos el oxígeno es suministrado mediante la aereación superficial natural y por la fotosíntesis de las algas.

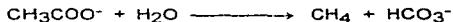
Las instalaciones de aereación sirven también para mezclar el contenido del estanque y evitar la sedimentación de los sólidos suspendidos. Si se permitiese el depósito de los sólidos se acumularía en el fondo una capa de fango anaerobio y el estanque se convertiría en facultativo.

b) Tratamiento anaerobio de aguas residuales

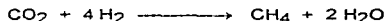
El tratamiento anaerobio de aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. El oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen del propio alimento. Se lleva a cabo por medio de bacterias heterótrofas acidogénicas y metanogénicas. Gujer y Zehnder (1983) propusieron seis etapas para la degradación anaerobia de compuestos de alto peso molecular:

- a) Hidrólisis de proteínas, lípidos y carbohidratos
- b) Fermentación de azúcares y aminoácidos
- c) Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes
- d) Oxidación anaerobia de intermediarios como ácidos grasos volátiles
- e) Conversión de acetato a metano
- f) Conversión de hidrógeno a metano

La descarboxilación del acetato se presenta en la siguiente reacción:



y la oxidación de hidrógeno por:



Factores que afectan al proceso anaerobio metanogénico

El proceso anaerobio funciona en dos intervalos de temperatura: el mesofílico de 30 a 38 °C y el termofílico de 50 a 60 °C, siendo las velocidades de reacción más altas en este último. La temperatura mesofílica óptima para el crecimiento de microorganismos anaerobios es de 35 °C, sin embargo, algunos digestores han operado a temperaturas inferiores a 20 °C con buenos resultados. (Stronach et al., 1986).

Los organismos metanogénicos se desarrollan en un intervalo de pH entre 6.2 y 7.8 con un óptimo cerca de 7. Las condiciones del medio a pH bajos son fuertemente dañinas a la población metanogénica y la inhibición empieza a un pH de 6.

El control del pH es fundamental para el mantenimiento de un crecimiento bacteriano óptimo, así como para asegurar la metanogénesis y para tener procesos de degradación eficientes. Este control se logra mediante la adición de alcalinidad.

El azufre en su forma no ionizada (H_2S) afecta considerablemente el proceso anaerobio metanogénico. Adicionalmente, los metales pesados, detergentes, desinfectantes, preservadores y productos farmacéuticos, entre otros también tienen un efecto negativo.

La tecnología anaerobia se ha desarrollado de tal forma que se pueden distinguir tres etapas en su evolución. En los reactores anaerobios de la primera generación la biomasa se encuentra en suspensión.

Los reactores de la segunda generación tienen como característica fundamental que la biomasa es retenida en el reactor por medio de un empaque (filtro anaerobio) o por las propiedades de sedimentación que posee (UASB, Up flow Anaerobic Sludge Blanket). Los reactores anaeróbicos de la tercera generación tienen los microorganismos adheridos en forma de biopelícula en un soporte, el cual se encuentra fluidificado o expandido.

Actualmente, los reactores más utilizados a escala industrial son los de la segunda generación, pues los de la primera tienen la desventaja de ocupar mayor volumen y poseer eficiencias de operación bajas. Los reactores de la tercera generación se encuentran actualmente a nivel piloto y han sido pocas las realizaciones prácticas.

Los reactores de la segunda generación ofrecen una buena relación área de contacto/volumen ocupado. El más utilizado por su bajo costo y altas eficiencias es el reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB). La gran ventaja de este reactor es el hecho de no utilizar empaque para la retención de biomasa. Además, tiende a la formación de flóculos sedimentables con una gran actividad metanogénica. Cabe destacar que los flóculos del reactor UASB podrían ser ligeramente fluidificados, proporcionando ventajas cercanas a las de los reactores de la tercera generación.

La principal aplicación se encuentra en la digestión de los fangos de agua residual doméstica una vez concentrados, así como en el tratamiento de algunos residuos industriales; sin embargo, mediante el proceso de contacto anaerobio y el filtro anaerobio se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos pueden tratarse anaeróbicamente. También se aplica este tratamiento a los estanques y lagunas anaerobias.

La digestión es un proceso anaeróbico en el que los materiales de descomposición pasan por varios procesos: licuefacción, gasificación y mineralización, obteniéndose un producto final inerte con liberación de gases

La licuefacción se produce por enzimas extracelulares que hidrolizan los carbohidratos complejos a simples azúcares, las proteínas a péptidos y los aminoácidos y grasas a glicerol y ácidos, siendo el producto final de la licuefacción ácidos orgánicos volátiles.

Durante la gasificación, estos productos se convierten en gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono. Finalmente la masa orgánica soluble es también descompuesta.

La digestión pasa por distintas fases, siendo las principales la fermentación ácida y la fermentación alcalina, de donde resulta la importancia del pH en el control de estas fases.

Es conveniente comparar las ventajas e inconvenientes de los procesos de digestión aerobio y anaerobio, y las condiciones y circunstancias en que cada uno de ellos pueda resultar óptimo. En primer lugar, la digestión aerobia se basa en microorganismos que utilizan oxígeno y que por tanto son del tipo de los utilizados en el proceso de tratamiento de aguas residuales, tanto en el de fangos activados, como el de lechos bacterianos. La digestión anaerobia utiliza microorganismos anaerobios que se encuentran en el fango fresco en las cantidades necesarias para el tratamiento, por lo que el fango fresco ha de recibir el tratamiento de organismos formados en el digestor. Por otra parte, el costo de inversión en los procesos anaerobios es siempre mayor que el de procesos aerobios. La digestión anaerobia precisa un depósito de mayor tamaño y cerrado, precisando instalaciones costosas para la conducción de gases y su utilización como calefacción de dichos digestores.

Una característica que puede definir la disyuntiva entre ambos sistemas, es la consideración de si los lodos a digerir son primarios únicamente o son mezcla de primario y secundario. Los lodos frescos provenientes del primario, si no han estado mucho tiempo en el decantador antes de su extracción, son más susceptibles a un tratamiento anaerobio. Los lodos secundarios y en general, los que están parcialmente tratados se digieren mejor en forma aerobia. El sistema de digestión aerobio permite realizar, en todo o en parte la nitrificación, mientras que este paso no se produce nunca en los digestores anaerobios.

Desde el punto de vista funcional, es preferible el sistema aerobio, ya que el control del digestor anaerobio es mucho más complicado y su tiempo de puesta en marcha mucho más largo. Por otra parte el digestor anaerobio, al ser un recinto cerrado, ofrece más dificultad para limpieza y simple inspección visual de lo que está ocurriendo adentro, mientras que en el digestor aerobio, para operadores experimentados, es siempre fácil saber lo que está ocurriendo en cada momento y adoptar las medidas correspondientes en caso de surgir problemas en el funcionamiento del proceso.

c) Tratamiento residual aerobio-anaerobio

Los estanques en que se efectúa la estabilización de aguas residuales mediante una eliminación de bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, se conocen con el nombre de estanques estabilizadores aerobios-anaerobios. Tales estanques tienen una capa aerobia superior y otra anaerobia inferior. En la práctica, el oxígeno se mantiene en la capa superior y por la presencia de algas o por uso de aereadores de superficie. La comunidad biológica en la capa superior o aerobia, es similar a la de un estanque aerobio, mientras que los microorganismos en la capa inferior del estanque son bacterias facultativas y anaerobias. Los procesos acoplados anaerobio-aerobio aumentan la eficiencia de tratamiento de las aguas

residuales. En la etapa anaerobia se elimina la mayor cantidad de materia orgánica contenida en el agua residual y en la aerobia se pule el efluente anaerobio (eliminación de nitrógeno, fósforo y la materia orgánica remanente). Se han desarrollado varios sistemas de tratamiento que hacen uso del acoplamiento de los procesos anaerobio y aerobio.

Comparación entre los tratamientos aerobios y anaerobios

La diferencia esencial entre dos tipos de tratamiento es el aceptor final de electrones, y de ello se derivan las diferencias más importantes que influyen significativamente sobre el costo y las consideraciones de tipo técnico.

El proceso anaerobio tiene una baja tasa de síntesis bacteriana, el 90% de la energía se utiliza para la producción de metano mientras que el 10% restante lo utilizan para la síntesis celular.

Por el contrario, en el proceso aerobio el 65% de la energía es utilizada para la síntesis celular, por lo que hay mayor generación de biomasa (lodos), cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica y el costo total del proceso.

El proceso anaerobio es un productor de energía (CH_4), mientras que el aerobio es un consumidor de ésta en forma de agitación y oxigenación. Sin embargo, el proceso anaerobio es más sensible a los cambios ambientales y requiere mucho mayor tiempo de arranque; de 2 a 4 meses, mientras que el aerobio tarda de 2 a 4 semanas. Además, el proceso anaerobio no alcanza el mismo tratamiento que los aerobios y por ello se han propuesto acoplar a los dos procesos, lo que tiene por efecto el incremento de la eficiencia de tratamiento de las aguas y una disminución en los costos de inversión y operación.

Para poder visualizar de mejor manera lo anteriormente mencionado, se resume en la siguiente tabla.

	ANAEROBIO	AEROBIO
Requerimientos energéticos	Baja	Alta
Eficiencia	Moderada 80 a80%	Alta >95%
Producción de lodos	Baja	Alta
Estabilidad en el sistema (compuestos tóxicos)	Baja a moderada	Moderada a alta
Tiempo de arranque	2 a 4 meses	2 a 4 semanas
Requerimientos de nutrimentos	Bajo	Altos para aguas residuales específicas
Olor	Problemas potenciales	Pocos problemas
Requerimientos alcalinidad	Altos para aguas específicas	Bajos

II.4.4 PROCESOS QUÍMICOS

Los procesos químicos unitarios son:

- a) Precipitación química
- b) Transferencia de gases
- c) Adsorción
- d) Desinfección
- e) Combustión
- f) Flocculación y coagulación
- g) Intercambio iónico
- h) Osmosis inversa
- i) Diálisis

a) Precipitación química

El tratamiento de aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad específica de mejorar el rendimiento de la planta y eliminar determinados componentes del agua residual. La remoción de ciertos materiales inorgánicos solubles se puede lograr al agregar reactivos adecuados para convertir las impurezas solubles en precipitados insolubles que pasan así a la floculación y se pueden remover por sedimentación. El pH y la temperatura afectan el grado de remoción que depende de la solubilidad del producto.

Se utiliza la precipitación química en el tratamiento de aguas residuales de origen industrial para remover metales tóxicos. Se usa para ablandar el agua; aunque en concentraciones altas la dureza es inofensiva y las aguas ablandadas artificialmente tienden a aumentar la incidencia cardiaca. Puede utilizarse para la eliminación de fósforo; y de productos orgánicos resistentes al tratamiento biológico. Una de las características de los procesos de precipitación química, es la producción de volúmenes relativamente grandes de lodos. Es posible obtener un efluente limpio, substancialmente exento de materia en suspensión o en estado coloidal. Mediante este proceso se puede eliminar:

	Precipitación química	Sedimentación normal
Materia total suspendida	80-90%	50-70%
Materia orgánica	50-55%	30-40%
Bacterias	80-90%	-----

Entre los productos químicos más empleados están:

Sulfato de alúmina	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
Sulfato de hierro	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Cal	$Ca(OH)_2$
Ácido sulfúrico	H_2SO_4
Anhidrido sulfuroso	SO_2
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$

b) Transferencia de gases

El funcionamiento de los procesos aerobios tales como todos, filtros biológicos y digestión aerobia, dependen de la disponibilidad de cantidades suficientes de oxígeno. La teoría que se emplea para explicar el mecanismo de transferencia de gases es la de la doble capa. La tasa de transferencia del gas es, en general, proporcional a la diferencia entre la concentración existente y la concentración de equilibrio del gas en la solución. La concentración del gas disuelto en un líquido es función de la presión parcial. La cantidad de gas que puede retener un líquido depende de las reacciones que pueda sufrir el gas. Una mejor transferencia se logra teniendo una gran interfase entre el líquido y el gas o mediante una agitación mecánica. Los dispositivos de aereación más utilizados son: tubos y placas porosas, tuberías perforadas, difusores plásticos o metálicos y aereadores de turbina.

c) Adsorción

Consiste en hacer uso de la capacidad de un adsorbente para remover ciertas sustancias (adsorbatos) de una solución. En este proceso las sustancias abandonan la solución y quedan retenidas en la superficie sólida mediante enlaces químicos y físicos. Uno de los adsorbentes más empleados es el carbón activado, el cual se pone en contacto con la solución para eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta causante de sabor y olor. Este proceso se puede llevar a cabo en columnas empacadas y en columnas de lecho fluidizado.

Características de los coagulantes: son de carga mayor y opuesta al coloide, y han de ser más pesados. Pueden ser orgánicos e inorgánicos.

Inorgánicos

- cal
- carbonato de sosa
- sosa cáustica
- cloro
- sulfato de magnesio
- arcilla

Orgánicos

- alginatos (extracto de algas)
- almidones
- sintéticos: aniónicos y no aniónicos

d) Desinfección

Se define como la destrucción selectiva de microorganismos patógenos o causantes de enfermedades. La desinfección suele realizarse por: agentes químicos, agentes físicos, medios mecánicos y/o radiación. Los factores que influyen en la acción de los desinfectantes son: tiempo de contacto, concentración y tipos de agentes químicos, intensidad y naturaleza del agente físico, temperatura, número de organismos, tipo de organismos, naturaleza del medio líquido. Es importante diferenciar la esterilización (la muerte de todos los organismos), que rara vez se practica o se necesita, de la desinfección (la muerte de organismos potencialmente dañinos), que es el requerimiento normal. En la siguiente tabla encontraremos las características que se requieren para un desinfectante químico ideal.

CARACTERÍSTICA	INDICACIONES
Toxicidad para los microorganismos	Debe tener un amplio espectro de actividad a altas diluciones
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o en los tejidos celulares
Estabilidad	La pérdida de su acción germicida en almacenamiento debe ser baja
No debe ser tóxico para formas de vida superior	Deberá ser tóxico a los microorganismos patógenos y no ser tóxico al hombre y a otras formas de vida
Homogeneidad	La solución debe ser uniforme en su composición
Interacción con materias	No debe ser adsorbido por materia orgánica
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectiva en un intervalo de temperatura ambiente
Penetración	Debe de tener capacidad de penetración a través del agua
No corrosivo y no teñidor	No debe corroer los metales o manchar la ropa
Habilidad para deodorizar	Debe deodorizar mientras desinfecta
Capacidad detergente	Debe tener acción limpiadora para mejorar su efectividad desinfectante
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable

- Desinfección por cloro. El cloro es uno de los desinfectantes más empleados debido a su poder oxidante. Términos usados en la cloración:

Dosis: cantidad de cloro añadido.

Demanda: cantidad de cloro que se debe añadir para alcanzar el nivel deseado de cloro residual.

Cloro residual: es la cantidad de cloro que se encuentra en el agua, si es cloro residual libre es la cantidad de HClO o ClO^- y si es cloro residual combinado es el que está como cloraminas.

Break point: conforme se va añadiendo cloro, las cloraminas se oxidan a óxidos de nitrógeno reduciendo el cloro a ion cloruro.

El cloro y sus compuestos se utilizan para desinfectar el agua porque:

1. Se obtiene fácilmente como gas, líquido o polvo.
2. Su aplicación es sencilla debido a una solubilidad relativamente alta (700 mg/L).
4. Deja un residuo en solución que no es dañino para el hombre y protege el sistema de distribución.
5. Es muy tóxico para la mayoría de los microorganismos, ya que detiene la actividad metabólicas.

Las desventajas que presenta son que es un gas venenoso que requiere de un manejo cuidadoso y puede causar problemas de olor y sabor, especialmente en presencia de fenoles.

Existe la preocupación por la presencia en el agua de pequeñas concentraciones de compuestos organoclorados, algunos de los cuales son carcinógenos en dosis relativamente altas en los animales. Por esta razón, existe un peligro potencial en beber de por vida agua con concentraciones de unos cuantos $\mu\text{g/L}$ de estos

compuestos. Hay que evitar que se formen mediante un cuidadoso control del proceso y evitar el uso innecesario del cloro.

En el uso del cloro en forma gaseosa existe un riesgo potencial en donde puede haber una fuga de gas tanto en la planta como en el transporte. En la forma de hipoclorito es más segura, especialmente en plantas chicas, donde las medidas de seguridad son más ambiguas.

- Desinfección por ozono. Es un poderoso oxidante, más que el HClO y también desinfectante. Por ser relativamente inestable en agua, tiene una vida media de 20-30 minutos en agua destilada a 20 °C, por lo que se debe de producir en el lugar de empleo, ya que no se puede almacenar como el cloro. Es útil en la remoción de sabores y olores. Este tratamiento es mucho más caro que la cloración, pero tiene la ventaja de remover bien el color. El ozono reacciona con la materia orgánica para formar ozónidos en ciertas condiciones. El ozono se produce haciendo pasar oxígeno o aire seco por una descarga eléctrica de alto voltaje y alta frecuencia.

- Desinfección por radiación ultravioleta. La mayor desventaja de este proceso es que no se tiene desinfección residual. Hay dos formas de irradiar luz ultravioleta en el tratamiento de agua: con la fuente de luz ultravioleta sumergida o en la superficie del agua. El factor principal es la capacidad de la radiación de pasar a través del agua hasta los organismos. No hay formación de olores y sabores, su mantenimiento es mínimo y un control automático sencillo, sin peligro de sobredosis. Sus desventajas son que no queda ningún residuo, su alto costo y que el agua debe tener gran claridad.

e) Combustión

Se usa con el fin de reducir el peso y volumen de lodos y de producir un residuo inerte e inodoro para su eliminación final.

Combustión seca. Implica la combustión de todas las sustancias orgánicas presentes. Los elementos predominantes son carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. La cantidad de oxígeno necesaria se calcula suponiendo una combustión total hasta CO_2 y H_2O . La cantidad de aire empleada es de 4.5 veces la cantidad calculada de oxígeno más un 50% de exceso para asegurar una combustión completa.

Combustión vía húmeda. El lodo se alimenta sin tratamiento previo; las sustancias orgánicas se oxidan a altas presiones y elevadas temperaturas obteniéndose un nivel de combustión de 80-90 %.

f) Floculación y coagulación

Consiste en añadir sustancias químicas al agua para lograr que sólidos coloidales y partículas de lenta sedimentación se aglomeren en floculos de rápida sedimentación. Por lo que se genera una agitación lenta para agregar las partículas desestabilizadas en floculos de rápida sedimentación y a la coagulación como la agitación y mezclado rápido de un coagulante. La dosis normal de coagulante es de 30 a 100 mg/L en todo el cuerpo de agua. El coagulante es una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un floculo insoluble de hidróxido del metal que incorpore a las partículas coloidales; mediante la floculación de esta fina precipitación se producen sólidos sedimentables.

Fenómenos de la coagulación: neutralización de las cargas negativas de las impurezas; reacción del coagulante y formación del floculo con carga positiva; adsorción superficial de las impurezas.

Factores que influyen en la coagulación: tipo de coagulante, cantidad de coagulante, características del agua, período de coagulación, efecto de la temperatura del agua, fuerza de agitación y presencia de núcleos

g) Intercambio iónico

Proceso de cambio de ciertos cationes y aniones indeseables por un material llamado resina o zeolitas. Se da una reacción química entre los iones en la fase líquida y los de la fase sólida. El intercambio iónico nos regresa agua de excelente calidad y se puede emplear para: suavizado de agua, eliminación de cationes y aniones del agua, desmineralización parcial en el tratamiento terciario, remoción de amoníaco, eliminación de iones metálicos pesados, tratamiento de agua con desechos radioactivos con arcilla. Las resinas pueden ser de intercambio catiónico, aniónico y aniónico-catiónico. Los equipos empleados son columnas empacadas, de lecho fluidizado y batch. No produce lodos aunque cuando se agota la capacidad de intercambio iónico, es necesario regenerar el material, desechando así una cantidad de concentrado del contaminante original. El uso más común es el ablandamiento de agua o desmineralización en el caso de aguas para calentadores de alta presión en donde es esencial la alta pureza del agua.

h) Diálisis

Consiste en la separación de solutos de diferente tamaño iónico o molecular empleando una membrana permeable selectiva. La separación se lleva a cabo por la diferencia de concentración del soluto a través de la membrana. Se limita a pequeños flujos ya que el coeficiente de transferencia es pequeño.

i) Electrodialisis

En este proceso se emplea una fuerza electromotriz para lograr la transferencia de masa y se logra una mayor tasa de separación. Cuando se aplica corriente, los iones positivos migran hacia el cátodo y los negativos hacia el ánodo. Las membranas que se emplean son selectivas, los cationes no pasan a través de las membranas catiónicas y viceversa.

j) Ósmosis inversa

Consiste en aplicar una presión suficiente a un flujo concentrado para vencer la presión osmótica y así forzar al agua a pasar a través de una membrana semipermeable. Este proceso es similar a la ultrafiltración y microfiltración. Las membranas de mayor uso son las de acetato de celulosa, que permiten separar hasta un 99% de sales.

II.4.5 RENDIMIENTOS

Los rendimientos alcanzables por estos procesos se muestran en la tabla siguiente.

PROCESO DE DEPURACIÓN	% DE REDUCCIÓN		
	DBO	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	B. COLIFORMES
Cloración del agua bruta o sedimentada	15-30	—	90-95
Depuración Primaria. Sedimentación	25-40	40-70	25-55
Depuración Secundaria. Precipitación química	50-85	70-90	40-80
Depuración Secundaria. Lecho bacteriano de alta velocidad precedido y seguido de sedimentación	65-92	95-92	80
Depuración Secundaria. Lecho bacteriano de baja velocidad precedido y seguido de sedimentación	80-92	70-92	90
Depuración Secundaria. Fangos activos de alta carga, precedidos y seguidos de sedimentación	65-92	65-92	80
Depuración Secundaria. Método convencional de fangos activos, precedidos y seguidos de sedimentación	75-92	85-92	90
Depuración Terciaria	92-98	93-98	
Cloración del agua tratada biológicamente			98-99

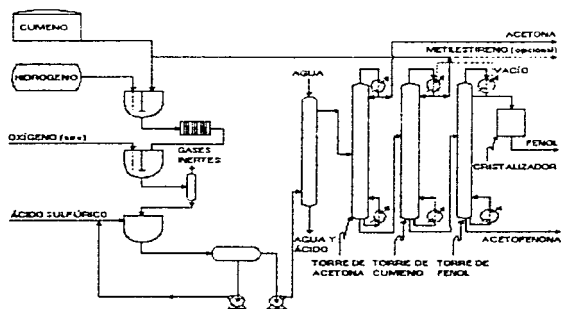
Considerando las indicaciones de la tabla anterior podemos seguir paso a paso los procesos unitarios capaces de cumplir con los niveles de capacidad exigidos y los subsiguientes niveles de eliminación correspondiente.

CAPÍTULO III

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE FENOL Y ACETONA

III.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE FENOL Y ACETONA

Para conocer las características del efluente que se va a tratar, a continuación se presenta el diagrama de flujo de proceso de una planta productora de fenol y acetona:



El cumeno fresco se mezcla con el cumeno de recirculación en relación aproximada de 4 a 1 moles y se hidrogena esta mezcla. El cumeno de recirculación contiene alrededor de 1% de alfa-metil-estireno y éste debe de eliminarse antes de oxidar al cumeno, ya que es un inhibidor poderoso de la reacción.

Se alimenta hidrógeno al reactor que puede venir de la refinería como tal o como gas natural, que se tiene que procesar previa eliminación de compuestos de azufre con vapor en presencia de una mezcla de óxidos de fierro y cromo, o de níquel sólo, o con aluminio. Los óxidos de carbono producidos se oxidan a bióxido de carbono que se absorbe en monoetanol-amina. Para la hidrogenación se emplea un catalizador de níquel suspendido en la mezcla, agitación mecánica y una temperatura de unos 100°C. El líquido resultante contiene menos de 50 partes por millón de alfa-metilestireno

El cumeno así purificado, es decantado y filtrado para eliminar el catalizador y pasa luego al oxidador. Es recomendable tener almacenaje intermedio entre ambos pasos para evitar trastornos provocados por variación en el gasto.

El oxidador es un recipiente que contiene una emulsión de aceites en agua, su contenido se mantiene a una temperatura de 130°C. Se inyecta aire de modo que burbujee para proveer el oxígeno necesario. Se usa un exceso de cumeno por ser más eficiente el aprovechamiento del oxígeno del aire, se forma el hidroperóxido de cumeno. Este producto pasa a un separador para eliminar los gases fijados anteriormente y pasa al partidor que va a romper la molécula. La oxidación se efectúa en medio alcalino para aumentar la formación del peróxido. Las condiciones óptimas se obtienen con un pH de 8.5 a 10.5 y puede usarse carbonato de sodio. Los mejores resultados se obtienen usando agentes emulsificantes como el estearato de sodio en 0.3 % de concentración.

Otros factores que afectan la oxidación son la relación agua-aceite y la concentración del peróxido en la mezcla. El peróxido se descompone en presencia de un ácido mineral, generalmente sulfúrico.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

La masa líquida resultante pasa a un separador en el que se retira la capa aceitosa, o fenol crudo de la capa acuosa y se recircula ésta al reactor. La capa aceitosa pasa a una columna empacada en donde se depura o limpia con agua que arrastra el ácido residual.

El fenol, la acetofenona y la acetona son de importancia industrial y se separan individualmente.

La acetona es destilada con una pureza de 99.5% a 99.8%. El residuo pasa a la torre de cumeno, que trabaja al vacío y elimina por destilación al cumeno y el alfa-metil-estireno. Estas sustancias se recirculan al hidrogenador. El residuo de la columna de cumeno, tiene alrededor del 6 % de acetofenona, siendo el resto fenol casi en su totalidad. Esta masa pasa a la torre de fenol que también trabaja al vacío, destilando el fenol que posteriormente se condensa a 48-50°C y se cristaliza en un recipiente especial. El residuo de la torre de fenol contiene 15% de fenol y el resto es acetofenona. El rendimiento global desde cumeno hasta fenol es de 93 %.

El mejor agente emulsificante es el oxígeno sólo, porque presenta una mayor presión parcial y por lo tanto mejora la velocidad de reacción en el sistema heterogéneo. El oxígeno que no reaccionó puede recircularse ya que se utiliza un exceso de 90 %, el rendimiento de peróxido es casi cuantitativo. Al ir aumentando la concentración del peróxido, éste se destruye en parte, por oxidación prolongada, dando como resultado una disminución en el rendimiento global.

La reacción de oxidación es en parte autocatalítica ya que iniciada la reacción, su velocidad aumenta con la concentración del hidroperóxido. El peróxido de cumeno no necesita purificación. Si la descomposición del peróxido se hace a la temperatura de ebullición, la acetona se puede separar ahí mismo. También se puede descomponer con una solución de ácido sulfúrico al 10 %. Aquí también el

cumeno como medio favorece la descomposición y por eso no se separa sino más tarde. El cumeno además actúa como disolvente de los coproductos, evitando obstrucciones en el equipo.

III.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE FENOL Y ACETONA

Se va a suponer que el análisis cualitativo del efluente combinado tanto de proceso como sanitario de la planta de fenol y acetona arrojó el siguiente resultado:

pH	8.5	
COLOR	534	U Pt/Co
SO ₄ ²⁻	125	ppm
CN ⁻	0.002	ppm
S ²⁻	0.33	ppm
PO ₄ ³⁻	5	ppm
FENOLES	18.25	ppm
SST	153.65	ppm
Ss	0.42	ml/l
DCO	860.23	ppm
DBO	504.26	ppm
CrVI ⁺	0.05	ppm
NITRÓGENO	59.2	ppm
TEMPERATURA	30	°C
MAT. FLOTANTE	10	ppm
COLIFORMES	210 000	NMP/100ml

III.3 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

La depuración consiste en la eliminación de la contaminación e impurezas incorporables en el agua a tratar. Los procesos utilizables para la depuración de las aguas dependen del tipo de efluente, pudiéndose clasificar en:

✓ Procesos físicos: dependen esencialmente de las propiedades físicas de las impurezas, como tamaño de la partícula, peso específico, viscosidad, etc. Por ejemplo: cribado, sedimentación, filtrado, transferencia de gases

✓ Procesos biológicos: utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas. Los procesos biológicos aeróbicos incluyen filtrado biológico y los lodos activados. Los procesos de oxidación anaerobia se usan para la estabilización de lodos orgánicos y desechos orgánicos de alta concentración

✓ Procesos químicos: depende de las propiedades químicas de una impureza o que utilizan las propiedades químicas de reactivos agregados. Por ejemplo: coagulación, precipitación, intercambio iónico.

III.3.1 FASES DE DEPURACIÓN

Una planta de tratamiento de aguas tiene como objetivo tratar las aguas negras transportadas por las alcantarillas, colectores y emisarios, antes de su posterior vertido al cauce receptor, para garantizar la calidad de agua requerida según los usos previstos en dicho cauce.

Los índices fundamentales, utilizados para conocer la bondad del proceso y su rendimiento, pueden reducirse a:

- Caudal
- Oxígeno disuelto
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Sólidos en suspensión fijos y volátiles

- Sólidos disueltos fijos y volátiles
- Sólidos sedimentables fijos y volátiles
- Contenido de nitrógeno amoniacal, nitroso, nítrico y total
- Contenido de fósforo
- Contenido de elementos tóxicos y/o inhibidores
- Grasas y aceites

Desde el punto de vista de los rendimientos alcanzables en los procesos de depuración, éstos se clasifican en:

- Pretratamiento
- Depuración primaria o física
- Depuración secundaria, generalmente por procesos biológicos
- Depuración terciaria por procesos químicos

III.3.2 PRETRATAMIENTO

La primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales es el cribado o desbaste. El propósito es remover los sólidos gruesos como papel, trapos, madera, plásticos y otros, ya que si no se eliminan pueden dañar el equipo de bombeo y el de concentración de lodos, atorarse sobre los aireadores mecánicos, bloquear tuberías o boquillas creando serios problemas de operación y mantenimiento.

El tipo de material y las cantidades que se separan en las rejillas varían con las horas del día y, sobre todo, cuando hay precipitaciones pluviales. En este último caso, el agua de lluvia arrastra material que no fue arrastrado bajo otras condiciones. Otro efecto de arrastre por aguas de lluvia es la formación de aglomeraciones de fibras y pelo que pueda afectar negativamente la operación de

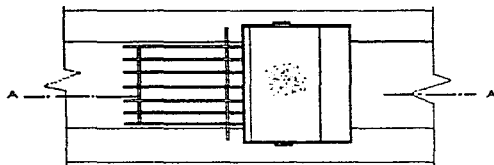
bombas y otros dispositivos de medición. Estas formaciones pueden ser separadas eficientemente en rejillas.

El pretratamiento consta de:

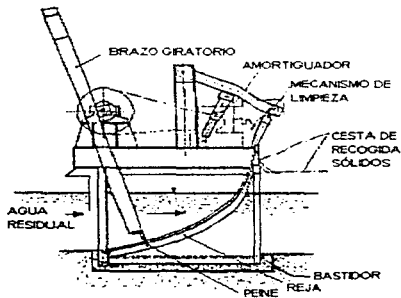
- Desbaste o cribado, para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivamente grueso
- Tamizado, para la remoción de una pequeña cantidad de materia en suspensión.
- Trituración, dispositivo que fragmenta o tritura el material retenido en las rejillas, sin eliminarlo del agua residual.
- Desarenado, para remoción de materiales más pesados que la materia orgánica putrescible.
- Desengrasado, para la separación de los distintos tipos de grasas y aceites presentes en el agua residual. así como de elementos flotantes.
- Homogenización, para asegurar un flujo constante y concentración homogénea en el tratamiento.
- Preaireación, para controlar los olores y prevenir la septicidad.

Las cribas pueden ser de limpieza manual o mecánica y de acuerdo al tamaño de aberturas se clasifican en gruesas o finas. Las primeras representan generalmente el primer paso en el tratamiento de aguas residuales y consiste en rejillas, tamices y trituradores. Las segundas se usan como una etapa de pretratamiento o para mejorar los efluentes del tratamiento secundario.

Las cribas finas pueden ser fijas o móviles. Las cribas fijas o estáticas se mantienen permanentemente en posición vertical, inclinada u horizontal y deben limpiarse con rastrillos o cepillos. Las cribas móviles se limpian continuamente mientras están operando. Ambos tipos de cribas pueden ser capaces de remover del 20 al 35 % de sólidos suspendidos y DBO₅.



REJA DE LIMPIEZA MANUAL



REJA DE LIMPIEZA MECÁNICA

TIPOS DE DISPOSITIVOS PARA EL CRIBADO (HERNÁNDEZ)

TIPOS	ABERTURA (cm)	PROPÓSITO
Rejas para basura	5-10	Proteger las bombas y equipo de los objetos grandes como troncos, trapos, botes, etc.
Rejillas	1.5-5	Separar materiales más pequeños que el que separa las rejas.
Tamices	0.22-0.32	Proteger boquillas de los filtros percoladores.
Desmenzadores	0.75-2	Reducir el tamaño de los materiales mediante trituración, sin removerlos de las aguas residuales.

INFORMACIÓN TÍPICA DE DISEÑO PARA REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL Y MECÁNICA (HERNÁNDEZ)

CONCEPTO	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Velocidad a través de las rejillas, m/s	0.3-0.6	0.8-1.0
Tamaño de las barras:		
Ancho, mm	4-8	8-10
Profundidad, mm	25-50	50-75
Separación libre entre barras, cm	25-75	10-50
Pendiente con respecto a la horizontal, grados	45-60	75-85

Existe un tipo de rejillas con aberturas de 22-32 mm, que son conocidas como tamices, éstos forman parte de equipos patentados que consisten en placas de

metal perforadas, como discos, tambores rotatorios o placas metálicas encadenadas en bandas sin fin. Los tamices se pueden utilizar en lugar de una sedimentación, en lugares donde no haya suficiente espacio para un tanque de sedimentación.

Los desmenuzadores o la trituración, son dispositivos que fragmentan o Trituran el material retenido en las rejas, sin eliminarlo del agua residual. Es conveniente usar los trituradores a continuación de un desarenador, para alargar la vida útil del equipo y reducir el desgaste de las superficies cortantes y de aquellas zonas de los mecanismos donde haya espacios libres entre las partes móviles y las fijas.

Los desarenadores se emplean para separar materiales más pesados que la materia orgánica putrescible, como la arena, la grava, cenizas, entre otros. Protegen las bombas y otros equipos del desgaste debido a la abrasión, evitan que estos materiales se acumulen en los tanques evitando así obstrucciones y taponamientos.

Es difícil separar únicamente las sustancias minerales, ya que muchos restos de comida tienen grandes diámetros y su velocidad de sedimentación es comparable con la de la arena. Esto hace que el material que se extrae del desarenador contenga partículas orgánicas que pueden causar malos olores si no se les proporciona el manejo adecuado.

Se recomienda proceder a un lavado de la arena, antes de su almacenamiento en tolva, en un depósito separado, provisto de un sistema eficaz de agitación por aire, al cual llega la mezcla agua y arena bombeada desde el desarenador. Posiblemente, el método más común de disposición o eliminación de arenas sea el relleno sanitario para evitar condiciones desagradables. En países desarrollados, las arenas son incineradas junto con los lodos residuales obtenidos de los procesos de tratamiento de agua.

La solución para evitar la existencia de grasas en el alcantarillado sería la instalación de cámaras de desengrasado en todos los establecimientos donde se produzcan. Las grasas retiradas se conducen a un depósito, donde se pretende alcanzar la máxima concentración de las mismas. Al quedar en reposo las aguas del fondo pueden retornarse al pretratamiento. Periódicamente las grasas pueden ser extraídas y transportadas para su recuperación o incineración. En plantas pequeñas se aconseja bombear periódicamente las grasas al contenedor de recogida de las arenas, y así mezcladas se transportan al vertedero.

Las plantas de tratamiento son diseñadas considerando que tanto el gasto como las concentraciones de contaminantes son constantes, sin embargo, existen variaciones de éstos parámetros que afectan negativamente en la eficiencia del proceso. El tanque de homogenización e igualación amortigua estas variaciones, asegurando un flujo constante y uniforme en los procesos subsecuentes del sistema. Es recomendable construirlos después de las rejillas y el desarenador.

La preaireación se utiliza para llevar a cabo uno o más de los siguientes objetivos:

- Control de olores
- Separación de grasas y remoción de arenas
- Prevención de septicidad
- Separación de arenas
- Flocculación de sólidos
- Mantener el oxígeno disuelto en los tanques de tratamiento primario en flujo lento
- Incrementar la remoción de DBO y SS
- Minimizar depósitos de sólidos en los muros y el piso de cárcamos húmedos

Los métodos para eliminar los sólidos recogidos del pretratamiento son:

- Enterramiento, siendo necesario mucho espacio.
- Incineración, que resulta caro.
- Relleno de tierras, pero hay que dejarlos que drenen de 24 a 48 hrs.
- Incorporación al tratamiento de basuras urbanas, que es muy común, no como recuperación, sino como sistema compartido de recogido y eliminación.
- Transporte a vertedero, sistema más utilizado.

Un proceso interesante es el prensado de los residuos retenidos en el desbaste. Las ventajas en este proceso son:

- Disminuye la humedad al prensar los residuos, disminuyéndose así peso y volumen para transporte.
- Al reducir la humedad se retrasa el proceso de fermentación, y en consecuencia los olores. Permite la retirada de estos productos prensados con una periodicidad mayor.

III.3.3 DEPURACIÓN PRIMARIA

El objetivo en esta etapa es eliminar los sólidos suspendidos en el agua que tienden a sedimentarse; en otras palabras, la sedimentación es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. El proceso de sedimentación se basa en la diferencia de densidad relativa entre el material sedimentable y el agua, por consiguiente cualquier factor que afecte tal característica afectará la velocidad de sedimentación.

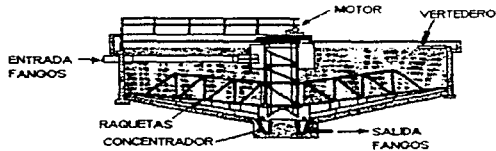
Las operaciones que se emplean en la depuración primaria son:

- La decantación
- La flotación

Cuando en un agua residual los sólidos se separan mediante la acción de la gravedad y la agregación natural de las partículas, la operación recibe el nombre de "sedimentación simple". Si se agregan productos químicos o de otra naturaleza para provocar favorecer la agregación y asentamiento de la materia finamente dividida y sustancias coloidales, la operación recibe el nombre de "coagulación". En el caso de agregar productos químicos para separar de las soluciones las impurezas disueltas, la operación recibe el nombre de "precipitación química".

Los sedimentadores primarios se utilizan para remover sólidos sedimentables previamente a otros tratamientos. Cuando se combina con tratamiento químicos y floculación, las unidades de tratamiento primario pueden remover fosfatos solubles y otros sólidos disueltos e incrementar la remoción de sólidos suspendidos.

Los sedimentadores intermedios o finales se usan para remover sólidos sedimentables producidos en los procesos de tratamiento biológico; también se utilizan para remover sólidos sedimentables que puedan resultar de un tratamiento terciario.



SEDIMENTADOR

Lo normal es que la depuración primaria o sedimentación primaria forme parte de un proceso con otras operaciones y procesos unitarios, para alcanzar los resultados previstos con el mejor rendimiento económico de todo el sistema. Su función básica es reducir la carga contaminante y la eliminación de material inorgánico, mejorando el rendimiento y las condiciones de funcionamiento de los procesos posteriores.

Las principales aplicaciones del tratamiento primario son:

- Remoción de arenas, arcillas y limos
- Remoción de sólidos suspendidos en clarificadores primarios
- Remoción de floculos biológicos en plantas de tratamiento mediante lodos activados
- Remoción de humus en plantas de tratamiento mediante procesos biológicos de contacto (filtros percoladores, biodiscos)
- Los tanques comúnmente se construyen de concreto reforzado, aunque también existen metálicos

Tipos de sedimentación

TIPO I Sedimentación libre de partículas discretas, en una suspensión diluida.

TIPO II Sedimentación de partículas floculantes en una suspensión diluida.

TIPO III Sedimentación de zona de partículas en concentración intermedia.






TIPO IV Sedimentación por compresión.

TIPO I Las partículas sedimentan como unidades separadas y aparentemente no hay interacción entre ellas.

TIPO II Las partículas flocculan durante la sedimentación, con lo que aumentan de tamaño y sedimentan a una velocidad mayor. Unos ejemplos de esto son, la sedimentación primaria de aguas residuales y de aguas residuales coaguladas químicamente.

TIPO III o con interferencia, comprende las partículas de concentración intermedia que se encuentran muy cercanas unas de otras, lo que provoca que las fuerzas interpartículas interfiera la sedimentación de partículas vecinas. Las partículas permanecen en una posición fija relativa una de otra y todas sedimentan con una velocidad constante.

TIPO IV o de compresión corresponde a partículas que están a tan alta concentración que se tocan unas con otras y la sedimentación puede ocurrir sólo por compresión de la masa.

PROCEDOS UNITARIOS					
REAS GRUESAS					
REAS FINAS TAMICES					
DESARENADO					
DECANTACION					
FLOTACION					
PARTICULA TIPICA ELIMINADA	CUERPOS FLOTANTES	PARTICULAS DISCRETAS	SOLIDOS SEDIMENTABLES INORGANICOS	SOLIDOS SEDIMENTABLES ORGANICOS	SOLIDOS FLOTANTES ORGANICOS

DEPURACIÓN PRIMARIA O FÍSICA

III.3.4 DEPURACIÓN SECUNDARIA

El tratamiento secundario es el proceso complementario de la depuración de las aguas residuales, consistente en una serie de operaciones y procesos químicos o biológicos al que son sometidos los efluentes del tratamiento primario, ya que los efluentes de tal tratamiento, contienen aun sólidos suspendidos finos, sedimentables, coloides y solubles, los cuales deben ser separados para obtener un agua apropiada para otro uso o para disposición final en cuerpos receptores.

El tratamiento secundario agrupa los procesos y operaciones unitarias, capaces de eliminar los sólidos que aun contienen los efluentes primarios, los procesos utilizados en el tratamiento secundario se clasifican en fisicoquímicos y biológicos.

Tratamiento físicoquímico

El desarrollo industrial ha generado una diversidad de residuos industriales que es necesario tratar para recuperar subproductos, disminuir la contaminación de las aguas y suelo, esto propició el desarrollo de los procesos fisicoquímicos para el tratamiento de las aguas residuales, muchos de ellos enfocados al tratamiento de sustancias contaminantes específicas, como son los metales, fosfatos, nitrógeno y productos orgánicos sintéticos.

Los procesos fisicoquímicos pueden servir para favorecer la sedimentación de la materia en suspensión, pero son especialmente útiles para eliminar la materia coloidal y los sólidos orgánicos disueltos, los cuales sin reactivos químicos jamás sedimentarían; estas sustancias son muchas veces responsables de la turbidez, color y DBO de las aguas residuales.

Los procesos fisicoquímicos son en general más costosos que los procesos biológicos, sin embargo, las limitaciones de los biológicos para tratar residuos tóxicos como metales y sustancias orgánicas sintéticas ha hecho que los procesos fisicoquímicos sean adaptados para cargas industriales de características agresivas a los procesos biológicos, a veces como un tratamiento previo al biológico y otras como un tratamiento único.

En el tratamiento fisicoquímico precisamos la introducción de cantidades importantes de reactivos (que se especificarán con mayor precisión en precipitación química), además necesitamos sistemas de dosificación muy exactos y personal preparado, ya que periódicamente tienen que estar modificando las dosificaciones para un correcto rendimiento.

Tratamiento biológico

Tiene como finalidad remover mediante la coagulación la materia orgánica en estado coloidal y disuelta, la cual no fue removida con el tratamiento primario y estabilizar la materia orgánica. En general, el tratamiento biológico se lleva a cabo por la transferencia de la materia orgánica hacia la película o flóculo, también llamado "floc" (biomasa), por contacto interfacial, adsorción y absorciones asociadas. La materia orgánica es utilizada por los microorganismos para su metabolismo y generación de células nuevas, las células viejas mueren, deslavándose y precipitándose al fondo.

En los sistemas biológicos, se tienen complejas poblaciones de microorganismos mezclados e interrelacionados, en los que cada uno de ellos tiene su propia curva de crecimiento, la cual depende de las condiciones del sistema, pH, temperatura, aireación o anaerobiosis y disposición de nutrientes.

La eficiencia de los procesos biológicos depende de las características de las aguas residuales, condiciones ambientales del sistema y tipo de microorganismos. Es importante conocer si el agua residual a tratar por medios biológicos contiene compuestos tóxicos que puedan ser inhibitorios para el crecimiento de los microorganismos, en tal caso se podría hacer un pretratamiento para su eliminación o mejor cambiar a un tratamiento fisicoquímico. En condiciones aerobias, los microorganismos utilizan el oxígeno en sus procesos vitales y en condiciones anaerobias se utilizan compuestos químicos en sustitución del oxígeno como aceptores de electrones.

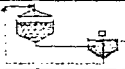
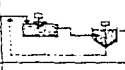

Los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales, consta de equipo que pone en contacto la materia orgánica con los microorganismos durante el tiempo suficiente para llevar a cabo su oxidación, bajo condiciones aerobias o anaerobias

En el proceso biológico la formación de flocúlos con peso suficiente para poder separarse de la masa de agua se logra gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos que están en el agua residual. El equipo encargado del sistema no tiene que preocuparse del propio mecanismo funcional, el sistema biológico tiene inercia suficiente para aceptar las modificaciones de carga y problemas que puedan surgir.

El proceso biológico es un mundo ecológico totalmente cerrado, totalmente coartado y que, solamente tiene un rendimiento óptimo en una situación dada de caudal y carga. Es un mundo ecológico donde un volumen fijo, una cantidad de organismos vivos, de acuerdo con el sistema seleccionado, admite una única carga. El sistema para lograr un funcionamiento correcto consiste en mantener las condiciones vitales de esos microorganismos e introducir un caudal constante y una carga orgánica también constante.

Los principales microorganismos responsables de remover grandes cantidades de materia orgánica en los procesos biológicos aerobios, son las bacterias, en su mayoría aerobias facultativas heterótrofas.

Además de la fuente de carbono orgánico y la presencia de oxígeno, principales abastecedores de carbono y energía para la síntesis y mantenimiento de funciones, debe haber elementos inorgánicos como nitrógeno y fósforo, y trazas de elementos como azufre, potasio, calcio y magnesio, que son vitales para la síntesis celular.







PROCESO UNITARIO	DE NATURALEZA BIOLÓGICA	DE NATURALEZA FÍSICO-QUÍMICA
LECHOS BACTERIA- NOS a) Reactor biológico b) Separación física		
FANOS ACTIVADOS a) Reactor biológico b) Separación física		
FLOCULACIÓN-DECAN- TACION a) Coagulación-flocu- lación b) Separación física		
PARTÍCULA TÍPICA ELIMINADA	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

DEPURACIÓN SECUNDARIA

III.3.5 DEPURACIÓN TERCIARIA

El tratamiento químico tiene su aplicación indudable como tratamiento terciario, bien para obtener una eliminación más completa de los contaminantes, para la eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, después de un tratamiento biológico. En este caso los consumos de reactivos pueden elevarse de 40 a 150 mg/L.

La utilización de este sistema es aceptable sólo cuando los nutrientes en exceso dan origen a problemas de eutrofización, como en el caso de los vertidos en lagos con desarrollo excesivo de algas, o en embalses con utilización posterior, principalmente para abastecimientos.

PROCESOS LIMITADOS			
Aeración			
Adsorción por carbón			
Filtración			
Cambio iónico			
Separación por membranas			
Desinfección			
PARTÍCULA TÍPICA ELIMINADA	GASES DISUELTOS	MATERIA ORGÁNICA DISUELTA (NITRÓGENO)	MICROORGANISMOS BACTERIALES Y VIRUS

DEPURACIÓN TERCIARIA

III.3.6 LODOS RESIDUALES

Uno de los problemas principales en el tratamiento de aguas es el de la eliminación de los lodos. Actualmente en la república mexicana, se genera un volumen aproximado de 100 metros cúbicos por segundo de aguas residuales y que a su vez generan 12,614,000 toneladas por año de carga orgánica o lodos residuales. Los lodos producidos por las plantas de tratamiento, requieren un proceso especial, antes de darles una disposición final adecuada para una posible reutilización por lo que puede representar casi la mitad del costo del tratamiento.

Las aguas residuales que se generan en la Ciudad de México se convierten en un verdadero problema para la sociedad, puesto que el volumen de aguas residuales promedio en una ciudad es alrededor de 800 L o más por persona y por día; por lo tanto, es necesario desarrollar procesos para el tratamiento de agua, ya que éstas podrían ser un peligro latente para la salud en muy diversos aspectos.

El lodo puede ser considerado como una sustancia que se encuentra generalmente disuelta en el agua. En el tratamiento de aguas se generan lodos residuales, los cuales pueden ser de diez tipos:

1. Los sólidos que son retenidos en las rejillas del tratamiento preliminar.
2. Los sólidos sedimentados en los desarenadores.
3. Natas que se forman a partir del material flotante de todos los tanques y depósitos de tratamiento.
4. Lodos primarios, que poseen características más desagradables, ya que son extraídos de los sedimentadores primarios.
5. Lodos de precipitación química, que son obtenidos a partir de los agentes químicos que se utilizan para la extracción de los metales.

6. Lodos que se encuentran con cierta carga de material biológico, por lo cual se encuentran en determinado grado de putrefacción, generalmente estos lodos se conocen como activados.
7. Los lodos producidos por los filtros rociadores, a los cuales se les conoce como humus.
8. Lodos digeridos anaeróbicamente.
9. Lodos digeridos aeróbicamente.
10. Los lodos que se encuentran contenidos en los tanques sépticos, contienen H_2S y otros gases.

Para un mejor manejo y disposición de estos lodos se han desarrollado métodos para mantenerlos estables ya sea disminuyendo el volumen o descomponiendo la materia orgánica. Uno de los métodos más utilizados de estabilización de lodos, es la Digestión Aerobia, ya que ésta presenta un mayor número de ventajas, tales como la reducción de sólidos volátiles y es aproximadamente la misma que la obtenida anaeróbicamente, las concentraciones de DBO son menores en el licor sobrenadante, se obtiene un producto final biológicamente estable y sin olor, puede ser de fácil disposición, se recupera casi todo el valor básico de fertilizante en el lodo, muy pocos problemas de operación, y tiene un costo de capital menor. El segundo método es la Digestión Anaerobia este es un método de estabilización biológico; así como la digestión aeróbica.

Existen tres tipos de digestión anaeróbica:

a) Digestión Mesofílica

Consta de dos pasos:

Se somete a una temperatura de $30^{\circ} - 37^{\circ} C$ en un tanque cerrado con mezcla de lodos completa. Posteriormente se mantiene a temperatura ambiente en tanques abiertos, durante 15 a 20 días.

b) Digestión Termofílica

La temperatura de operación es de 40° - 45° C, es mucho más eficiente, reduce en mayor proporción la cantidad de organismos patógenos y sólidos volátiles, tiempos de retención más cortos. Aunque este proceso tiene como desventaja ser muy inestable.

c) Digestión sin calor

Se lleva a cabo en lagunas de estabilización, no es muy usado ya que presenta desventajas, tales como requerir grandes superficies y generación de olores desagradables.

La digestión doble y el composteo son otras técnicas de estabilización de menor uso.

Existe otro tipo de estabilización realizada por productos químicos:

1. Adición de cal para producir un pH mayor a 12.
2. Adición de otros agentes químicos bactericidas como: agentes clorados, peróxido y agentes oxidantes fuertes como KMnO_4 , NaNO_3 , y O_3 , entre otros.

Es útil acondicionar los lodos para liberar tanta agua como sea posible, el objeto es aglomerar sólidos y aumentar su contenido. Los métodos de deshidratación preliminar existentes son:

- Espesamiento
- Acondicionamiento químico
- Elutriación
- Tratamiento con calor

Espesamiento, con muchos lodos floculentos, especialmente los excedentes de los activados, el agitado a baja velocidad en un tanque con un mecanismo del tipo de cerca con estacas estimula una floculación mayor y puede aumentar significativamente el contenido de sólidos y la capacidad de sedimentación al mismo tiempo que permite el retiro del sobrenadante.

Acondicionamiento químico, los coagulantes químicos pueden ser útiles en la promoción de la aglomeración de las partículas de floculo y en la liberación de agua. Los más comunes son: sulfato de aluminio, clorhidrato de aluminio, sales de hierro, cal y polielectrolitos o ambos. El costo de estos reactivos está más que compensado por el aumento en el contenido de sólidos y la mejora en las características de deshidratado que resultan de su uso

Elutriación, el requerimiento químico para el acondicionamiento se puede reducir si se mezcla el lodo con agua o efluente, se permite que se sedimente y se retira el sobrenadante antes de agregar las sustancias químicas. Este proceso de lavado quita mucho la alcalinidad que en los lodos digeridos ejerce una alta demanda química

Tratamiento con calor, se han empleado varios procesos para calentar los lodos de agua residual bajo presión con el fin de estabilizar la materia orgánica y mejorar su capacidad de deshidratación. Una operación común es calentar a una temperatura de 190° C por 30 minutos a una presión de 1.5 MPa y luego pasar el lodo a tanques de espesamiento. El sobrenadante tiene un alto contenido orgánico soluble y se debe regresar a la planta principal de oxidación para su estabilización, lo que no siempre es fácil debido a su biodegradabilidad limitada. Los problemas de corrosión y los altos costos de energía han hecho que las plantas de tratamiento con calor no sean muy atractivas en la mayoría de los casos.

En muchos de los métodos de eliminación de lodos, la deshidratación preliminar es esencial para que los costos de la eliminación se mantenga bajo control.

Los métodos de deshidratación son:

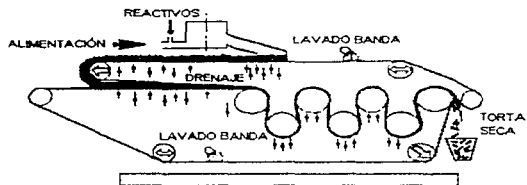
- Lechos de secado
- Filtrado de presión
- Filtrado al vacío
- Centrifugación

Lechos de secado, se dividen en áreas convencionales con paredes bajas. El lodo se pasa a los lechos hasta que la profundidad es de 125 a 250 mm; la deshidratación tiene lugar debido al drenaje de las capas inferiores y a la evaporación de la superficie bajo la acción del sol y del viento. La pasta se agrieta a medida que se seca, lo que permite mayor evaporación y el escape del agua de lluvia de la superficie. Se obtienen mejores resultados con la aplicación frecuente de capas de lodo poco profundas en vez de capas profundas e intervalos más largos. La remoción del lodo seco se realiza manualmente en plantas pequeñas y en plantas grandes se realiza mecánicamente. El terreno que se requiere para el lodo de agua residual es de 0.25 m² /persona. Este gran requerimiento hace difícil que los lechos de secado sean factibles a menos que se disponga de terreno a bajo costo. En muchas circunstancias se utiliza alguna forma de deshidratado mecánico, para el cual las necesidades de terreno son mínimas y cuyo rendimiento no es afectado por el clima.

El filtrado por presión, es un proceso intermitente en el que se bombea lodo acondicionado con presión creciente en cámaras revestidas con telas de fieltro; estas cámaras retienen los sólidos pero permiten que el líquido escape por las estrías que tienen las placas metálicas de apoyo como un filtro adicional para el resto del lodo y la pasta se deshidrata hacia el centro. El tiempo durante el cual

se somete a presión varía de 2 a 18 hrs., con presiones de 600 a 850 kPa, lo que da una pasta con un contenido de sólidos del 25 al 50 %. La carga de sólidos depende de la naturaleza del lodo y de la duración del ciclo de presión.

La prensa sin fin de operación continua, es una de las mejoras del proceso de filtrado de presión, que introduce el lodo acondicionado en la abertura entre dos bandas sin fin a las que se aplica presión por medio de rodillos. La deshidratación ocurre por una combinación de drenaje por gravedad, filtrado de presión y efecto de corte.



FILTRO PRENSA DE BANDAS

El filtrado al vacío, es un proceso continuo en el cual un tambor giratorio segmentado cubierto con tela de fieltro se sumerge parcialmente en lodo acondicionado, se forma un vacío de 90 kPa en los segmentos sumergidos para que el lodo se adhiera a la superficie de la tela; a medida que gira el tambor y la capa de lodo emerge del tanque, se jala aire a través de éste por el vacío para ayudar a la deshidratación. Un raspador quita la pasta de lodo con la ayuda de un cambio de presión positiva en el segmento de tambor correspondiente. Los sólidos de esta pasta son del 20 al 25 %; con rendimientos de filtro de 20 kg de sólidos secos/m²h.

En el método de deshidratación por centrifugación, la mayoría son de tipo del carcaza sólida en el cual se alimenta lodo acondicionado al centro de una carcaza que gira rápidamente, los sólidos son lanzados a la orilla exterior de donde son removidos por un raspador-transportador.

Es importante observar que en todas las operaciones de deshidratado de lodos el líquido que se separa requiere arreglos adecuados para poder eliminarlo. Este líquido de los lodos de agua residual, es altamente contaminante y se debe regresar a la planta principal de tratamiento para su estabilización.

III.3.7 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS ESTABILIZADOS

Existen diversas alternativas para disponer de las grandes cantidades de lodo que se generan por los tratamientos de aguas residuales. Las más factibles son:

1. Incineración. Se realiza por pirólisis y combustión a temperaturas extremas de alrededor de 800° C. Este proceso ocasiona que el cadmio y el plomo se liberen a la atmósfera aproximadamente en una proporción mayor del 50 %
2. Rellenos sanitarios. Esta es una de las opciones más utilizadas, pero aplicarla depende del control sanitario que se encargue de regular esta disposición de lodos, ya que involucra factores ambientales, económicos, sociales, etc; por lo cual, no resulta siempre muy viable.
3. Fertilizante. El uso de lodos residuales en general presentan una buena acción fertilizante. Sin embargo, existen ciertos tipos de lodo que contienen ciertos elementos que a determinadas concentraciones pueden causar toxicidad a la vegetación y que provienen generalmente de industrias. Los metales pesados se consideran nocivos para el crecimiento de las plantas, aunque la absorción y la acumulación de éstos va a estar en función del tipo de suelo.

Influyen factores como el pH, la cantidad de fósforo la materia orgánica presente, la capacidad de intercambio catiónico, humedad, temperatura y aireación.

Los materiales húmicos son los precursores de los THM (trihalometanos), estos materiales son oxidados completamente mediante la ozonación, por lo tanto si se aplica un tratamiento de ozono previo a la cloración, se reduce significativamente la producción de THM.

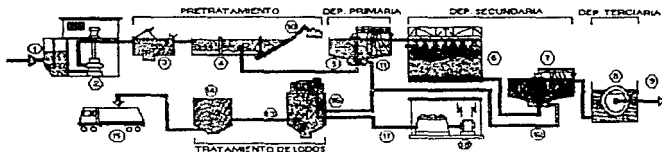
Así encontramos el ozono capaz de reducir a la turbidez, la DBO, DQO, eliminar la materia en suspensión, quitar el sabor y el olor del agua y fraccionar detergentes no biodegradables. Se puede instalar la ozonación para oxidar cianuros y fenoles.

Por lo general el ozono es aplicado en el tratamiento de aguas y aguas residuales para:

- Eliminar color
- Eliminar sabor
- Eliminar olor
- Desinfectar
- Eliminar hierro, manganeso y ácido sulfhídrico
- Oxidar el fenol
- Oxidar el cianuro

	Mejora y homogeneización	Concentración de materia sólida	Eliminación del lodo (gravita)	Reducción biológica de materia orgánica	Destrucción de la materia orgánica	Reducción de peso específico
Accidentalmente						
Espequeamiento						
Destierro						
Digestión anaeróbica (Amorfo)						
Inclusión						
Digestión						

PROCESOS UNITARIOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE LODOS



- | | |
|---|--|
| 1 = ENTRADA DE AGUAS RESIDUALES | 10 = ELIMINACIÓN DE ARENAS Y GRASAS |
| 2 = DEPÓSITO E INSTALACION DE BOMBEO | 11 = RETENCIÓN DE LODOS PRIMARIOS |
| 3 = DESASTE POR REJILLAS | 12 = RETENCIÓN DE LODOS SECUNDARIOS |
| 4 = DESARENADO Y DESENGRASADO | 13 = DIGESTIÓN PRIMARIA DE LODOS |
| 5 = DECANCIÓN PRIMARIA | 14 = DIGESTIÓN SECUNDARIA Y ESPERA DE LODOS |
| 6 = REACTOR BIOLÓGICO DE LECHO BACTERIANO | 15 = EVACUACIÓN DE LODOS, PREFERENTEMENTE PARA FINES AGRÍCOLAS |
| 7 = DECANCIÓN SECUNDARIA | 16 = PRODUCCIÓN DE GAS EN EL DIGESTOR PRIMARIO |

III.4 PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE FENOL Y ACETONA

La propuesta de un tren de tratamiento para el efluente de una planta de fenol y acetona, pudiendo cambiar ésta con base en las condiciones económicas y de normatividad vigentes en el momento en que se decida llevar a cabo el proyecto, se plantea a continuación.

La Norma Oficial Mexicana 003 establece los límites máximos permisibles de contaminantes a cuerpos receptores provenientes de la industria petroquímica, estos límites son los siguientes:

PARÁMETRO	PROMEDIO DIARIO
pH	6-9
Grasas y aceites mg/L	30
Demanda química de oxígeno mg/L	100
Demanda bioquímica de oxígeno mg/L	60
Sulfuros mg/L	0.2
Cromo hexavalente mg/L	0.05
Cromo total mg/L	1.0
Fenoles mg/L	0.5
Sólidos suspendidos totales mg/L	70

La Norma Oficial Mexicana 031 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas provenientes de la industria a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, y se muestran a continuación:

PARÁMETRO	PROMEDIO DIARIO
T °C	40 (instantáneo)
pH	6-9
Sólidos suspendidos ml/L	5
Grasas y aceites mg/L	60
Conductividad térmica micromhos/cm	5 000
Aluminio mg/L	10
Arsénico mg/L	0.5
Cadmio mg/L	0.5
Cianuros mg/L	1.0
Cobre mg/L	5
Cromo hexavalente mg/L	0.5
Cromo total mg/L	2.5
Fluoruros mg/L	3
Mercurio mg/L	0.01
Níquel mg/L	4
Plata mg/L	1.0
Plomo mg/L	1.0
Zinc mg/L	6
Fenoles mg/L	5
Sustancia activa al azul de metileno mg/L	30

Debido a que el efluente será descargado en la red municipal el objetivo del tratamiento será el cumplimiento de la norma oficial mexicana 031.

La mayoría de los componentes del agua residual son degradados tanto por procesos químicos como biológicos, por lo cual no es factible la recuperación de alguno de ellos. La descarga del efluente debe de cumplir con estos parámetros y en caso que la autoridad lo requiera también se debe de cumplir con las condiciones particulares de descarga que ella indique.

Comparando las tablas se puede uno dar cuenta que los siguientes aniones y cationes no necesitan tratamiento ya que se encuentran por debajo de las normas especificadas:

CN⁻
PO₄³⁻
Cr^{VI+}
SO₄²⁻

Y así mismo los componentes del efluente que rebasan la norma son:

S²⁻
Fenoles
SST
DQO
DBO
N
Materia flotante
Coliformes

y con base en esto se hará el desarrollo del tren de tratamiento de aguas.

Como se puede ver los contaminantes que se encuentran por encima de la norma son principalmente de origen sanitario por lo cual se propondrá un

tratamiento típico de efluentes de tipo sanitario pero poniendo especial atención en el tratamiento de tipo biológico para tener una adecuada degradación de los componentes de origen industrial, siendo en este caso los fenoles.

El tratamiento típico de un efluente sanitario consta de tres etapas: un tratamiento primario que consta principalmente de procesos unitarios físicos, un tratamiento secundario que en este caso se utilizará un proceso biológico debido a que no tenemos contaminantes no biodegradables, y un tratamiento terciario específico para nuestro efluente, con el objetivo de eliminar principalmente bacterias coliformes.

Tratamiento primario

Casi todo tratamiento primario debe de iniciar con una remoción de sólidos gruesos, por lo cual siempre se recomienda colocar una serie de rejillas a la entrada, como una medida de seguridad para evitar obstrucciones y proteger los equipos de proceso. Como se mencionó anteriormente existen rejillas de limpieza manual y automática; para este proceso se recomiendan las rejillas de limpieza manual, ya que los sólidos gruesos que se puedan presentar son sólo ocasionales y no de gran tamaño debido a que provienen principalmente del uso sanitario de la planta.

Una vez eliminados los sólidos gruesos se recomienda que el efluente pase a una fosa de homogenización que como su nombre lo indica tendrá la función de proporcionar un flujo constante y homogéneo a los siguientes equipos, siendo esto sobre todo importante para tener un buen tratamiento biológico. Se recomienda colocar algún tipo de agitador para que además de homogenizar el efluente, se pueda favorecer la captación de oxígeno superficial y así evitar que se presenten condiciones sépticas en este equipo.

A continuación el flujo proveniente de la fosa de homogenización pasa a un sedimentador. La función básica es reducir la carga contaminante y la eliminación de material inorgánico, mejorando el rendimiento y las condiciones de funcionamiento de los procesos posteriores. Su función de eliminar las partículas suspendidas más pesadas que el agua, se lleva a cabo gracias a la acción de la fuerza de gravedad. La acumulación de partículas suspendidas suele ser llamada lodos. Los lodos que se generan se pueden recircular al mismo sedimentador si se considera que pueden favorecer mediante arrastre la sedimentación de partículas más pequeñas, o se pueden extraer del proceso cuando exista una acumulación considerable. Cuando es necesario extraer los lodos del proceso, se pueden mandar a un filtro de bandas, donde se secan y se mandan a un confinamiento. A este equipo se le puede implementar un rasador de materia flotante en donde se elimina el material insoluble de menor densidad a la del agua residual.

Se espera que con el tratamiento primario se reduzca la concentración de nuestros contaminantes de la siguiente forma, con base en los parámetros de remoción mencionados anteriormente.

PARÁMETRO	ANTES	DESPUÉS	OBJETIVO
SST (ml/L)	153.6	46.08	5
DQO (mg/L)	860.2	559.13	100
DBO (mg/L)	504.3	327.79	60
MATERIA FLOTANTE (mg/L)	10	0	0
COLIFORMES (NMP/100ml)	210 000	126 000	20 000

Tratamiento secundario

El agua proveniente del sedimentador pasa al tratamiento secundario; que consiste de un tanque de biodegradación, donde la materia orgánica presente en el agua es degradada biológicamente por microorganismos hasta CO_2 y H_2O . Se propone utilizar el proceso de lodos activados, debido a que este proceso es uno de los más fáciles de establecer y a la vez económico debido a su fácil mantenimiento. Al tanque se le puede equipar con aireadores para proporcionar el oxígeno requerido por los microorganismos y se mantendrá una relación constante de agua residual alimentada y recirculación de organismos (lodos activados), a modo de mantener alrededor de 2000 ppm de sólidos suspendidos volátiles (microorganismos) en los tanques de biodegradación ya que es recomendable esta concentración para llevar a cabo eficazmente la degradación. Los aireadores tienen una doble función: suministrar oxígeno para la vida de los microorganismos y mantener el nivel de agitación suficiente para que éstos se mantengan en todo momento en suspensión. Para que los microorganismos puedan remover eficientemente los orgánicos del agua residual, además del aire suministrado, requieren de adición de nutrientes (fósforo y nitrógeno), debido a que estos elementos están presentes en el agua residual en bajas cantidades, por lo que el déficit se suministrará mediante la acción de fosfato de amonio y urea, ya que estos compuestos son la fuente más económica y accesible de fósforo y nitrógeno. La cantidad de nutrientes a alimentar estará en función de la carga orgánica suministrada al tanque de biodegradación y debe mantenerse en relación constante. Como consecuencia de la degradación de los compuestos orgánicos, se presenta un crecimiento y un aumento en el número de microorganismos, generando exceso de lodos.

El agua con baja concentración de compuestos orgánicos pero con alta concentración de sólidos sedimentables pasa a un sedimentador secundario. El

aumento de los sólidos sedimentables se debe a la degradación de los compuestos orgánicos por medio de los microorganismos y teniendo como consecuencia el aumento del número de los mismos. En el sedimentador secundario los sólidos sedimentables generados en el tanque de lodos activados se separan por gravedad, y el agua libre de sólidos sedimentables se derrama a un tanque de desinfección. Los sólidos se depositan en una tolva colectora de lodos en el fondo del sedimentador, para después ser succionados por una bomba de lodos y así recircularlos al tanque de biodegradación en una relación constante con respecto a la carga orgánica alimentada en el agua residual; el excedente de lodos es enviado a confinamiento.

Se espera que con el tratamiento secundario se reduzca la concentración de nuestros contaminantes de la siguiente forma, con base en los parámetros de remoción mencionados anteriormente.

PARÁMETRO	ANTES	DESPUÉS	OBJETIVO
SST (ml/L)	46.08	4.6	5
DQO (mg/L)	559.13	83.86	100
DBO (mg/L)	327.79	49.16	60
MATERIA FLOTANTE (mg/L)	0	0	0
COLIFORMES (NMP/100ml)	126 000	12 600	20 000

En cuanto al azufre, el nitrógeno y fenoles se tienen que tomar muestras constantemente para asegurar que se encuentren por debajo de los límites máximos permisibles.

Tratamiento terciario

Como se puede observar en la tabla anterior, el efluente del tratamiento secundario cumple con todos los parámetros señalados en las normas oficiales mexicanas.

De cualquier forma esta agua se alimentará a un tanque de desinfección, donde se agregará hipoclorito de sodio como agente oxidante y así eliminar coliformes evitando que el agua pueda volver a contaminarse por la presencia de estos microorganismos. Finalmente el agua se derramará a una fosa de almacenamiento de agua tratada para tener un volumen disponible para reusarse de la mejor manera.

Los lodos generados en el transcurso del tratamiento pasarán a un digestor aerobio cuyo objetivo es la reducción de olores, reducción de sólidos biodegradables y el mejoramiento de las características de desaguado de los lodos. Se recomienda suministrar aireadores superficiales o con difusores, con el fin de evitar la putrefacción. El objetivo de la digestión de lodos es la reducción del volumen de éstos para su disposición final; en este caso se recomienda utilizarlos como relleno sanitario dentro de la planta para de esta forma evitar un gasto por confinamiento.

Criterios de diseño del proceso

Criterio de diseño para prevenir interconexión con otras plantas

Este trabajo será diseñado para tratar los efluentes de una planta fenol y acetona, así como sus drenajes de servicios y sanitario. Si se tiene disponibilidad de terreno y capacidad de almacenamiento, se podrá dar servicio a plantas cercanas,

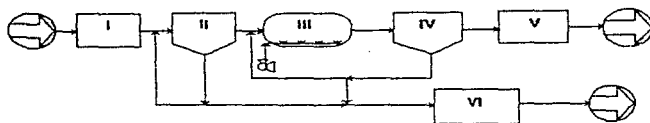
si sus efluentes pueden ser tratados mediante el proceso seleccionado, logrando de esta forma recuperar en menor tiempo la inversión realizada.

Criterios de muestreo

En el laboratorio se medirán los parámetros establecidos (fenoles, DBO, DQO, coliformes, pH, etc.) mediante muestreos compuestos, primero a la salida de la fosa de homogenización y después del tratamiento por lodos activados.

Criterio para disposición de desechos

Los lodos activados que deban ser removidos del proceso, se llevarán a un proceso de secado o compactación para finalmente utilizarlos como relleno sanitario de la planta, para de esta forma evitar un gasto por confinamiento.



TREN DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES

I Tanque de Homogenización

II Sedimentador Primario

III Reactor Biológico

IV Sedimentador Secundario

V Fosa de Desinfección

VI Digestor

CONCLUSIONES

La tecnología del tratamiento del agua es una técnica interdisciplinaria que comprende la aplicación de principios biológicos, químicos y físicos asociados con las técnicas de ingeniería, y siempre se debe buscar el mejor acoplamiento de éstas.

A pesar de la existencia de múltiples técnicas para el tratamiento de aguas residuales, siempre será de gran utilidad contar con un criterio ingenieril para lograr adecuarlos a las necesidades específicas de nuestro proceso.

Se debe hacer un balance de los diferentes efluentes que se generan en una planta industrial para poder decidir si se mezclan éstos o si se les da un pretratamiento individual a las aguas residuales antes de mezclar las aguas domésticas y las industriales, de esta manera ahorramos tiempo y dinero, haciendo nuestro problema más sencillo, haciendo trenes de tratamiento menos complejos y más eficientes.

El tratamiento de aguas residuales no es una técnica nueva. Las circunstancias ambientales y económicas actuales nos obligan a ser más eficientes los procesos y más responsables por los contaminantes que se generan. Se debe buscar la optimización de los procesos para así evitar la generación de los residuos contaminantes. Si ésto no es posible, siempre se debe de buscar la mejor manera de tratarlos.

Para seleccionar el tratamiento de aguas residuales adecuado para el caso que se esté tratando, se debe de tomar en cuenta el lugar, las condiciones económicas y la normatividad vigente en el momento en que se decida llevar a cabo el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Babbitt Harold. Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras. Compañía Editorial Continental, S.A. México 1958

Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. Vol. 116, No. 3 Marzo 1994

Colín,C.A. Lodos Residuales ¿Qué son y qué hacer con ellos? Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental A.C. Año 4 No. 12 México, 1991

Comisión Nacional del Agua. Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Normas Técnicas. Datos Básicos. Libro V 1a. Sección Tema 1

Fernández X.A. Contwell, AD, Mosley, FE Anaerobic Biological Treatment of Sewage. Water Pollution Control # 84, Vol. 1 1985

Hernández Muñoz A., Depuración de Aguas Residuales.Colección Senior No. 9 Madrid, España.1990

Joint Committee Members. Wastewater Treatment Plant Design. Lancaster Press, Inc. Estados Unidos de Norteamérica, 1977

López Ruiz, R., Departamento de Cursos Institucionales. Tratamiento de Aguas Residuales. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1995

Martínez L. R. Digestión Anaerobia de Lodos Residuales: Operación, Control y Cinética. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. U.N.A.M. 1982

Maskew Fair, G. et-al. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Vol. II Editorial Limusa-Wiley, S.A. México.1971

Metcalf and Eddy, Inc.,Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse. 3a. Edición. 1991

Ramírez Cortina C. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad azcapotzalco. Colección de Libros de Texto. 1992

Task Force Joint Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Vol I New York 1992

Tebutt, T.H.Y. Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. Ed. Limusa 1990

U.D. Grebenyuk Et-al, Electrodialysis of Solutions Containing Products of Oxidizing Destruction of Fluvic Acids of Natural Waters. Journal of Water Chemistry and Technology. Vol. 15 N.1 1993

W. Fresenius et W Schneider, Technologie des Eaux Résiduaires. Production, Collecte, Traitement et Analyse des Eaux Résiduaires: Springer- Verlag, Paris, 1980

Wesley Eckenfelder, W. Jr. Industrial Water Pollution Control. Segunda Edición, 1989