



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE  
SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

Elaborado por:  
Br. Altuve Yesenia  
Br. Ramirez Vanesa

Valencia, Junio 2011



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE  
SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito para optar al título  
de Ingeniero Civil

Tutor académico: Tulio Pottella  
Tutor metodológico: Mariela Aular

Elaborado por:  
Br. Altuve Yesenia  
Br. Ramirez Vanesa

Valencia, Junio 2011



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



### Certificado de Aprobación

Los abajo firmantes miembros del jurado examinador para estudiar el trabajo Especial de Grado titulado: "PROPUESTA DE NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES", presentado por los bachilleres: Altuve Yesenia , C.I. 18.084.341; Ramirez Vanesa Carolina C.I. 17.954.967; para optar al Título de: Ingeniero Civil, estimamos que el mismo reúne los requisitos y meritos suficientes para ser aprobado en nombre la Universidad de Carabobo por el jurado, en la ciudad de Valencia a los 15 días del mes de junio de 2011.

---

Tulio Pottellá

Presidente

---

Mariela Aular

Miembro principal

---

Aroldo Gómez

Miembro principal

Valencia, Junio 2011



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL

Autores: Br Altuve Yesenia  
Br Ramirez Vanesa  
Tutores: Prof. Aular Mariela  
Prof. Tulio Pottella  
Fecha: 2011

### RESUMEN

El objetivo principal del presente Trabajo Especial de Grado consta en desarrollar una propuesta de Normas técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamientos de agua residual. El tipo de investigación fue documental y el estudio es descriptivo, en su modalidad de proyecto especial. La elaboración de esta propuesta se basó en una revisión bibliográfica, haciendo una recopilación exhaustiva de toda la normativa encontrada, decretos sobre las descargas, manuales de diseño, documentos técnicos y artículos de internet relacionados con los sistemas físico-químicos principalmente coagulación-floculación que se destacó como el sistema más frecuente según entrevistas realizadas a expertos en el tema, así como también aquellas recomendaciones de carácter general que deben guiar el diseño de plantas de tratamiento. Se realizó un análisis de las condiciones actuales de varias plantas de tratamiento y se concluyó en base a los errores más frecuentes encontrados que se debe tomar con más importancias las variaciones de pH entre los tanques de igualación y mezcla lenta, y la dosificación de polímeros.

**Descriptor:** Normas técnicas, tratamiento de agua residual, tratamiento preliminar, procesos físico-químicos



REPUBLIC OF VENEZUELA  
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
UNIVERSITY OF CARABOBO  
FACULTY OF ENGINEERING  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING



## TECHNICAL STANDARDS FOR THE DESIGN OF PHYSICAL-CHEMICAL SYSTEMS IN PLANTS INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT

Authors: Bachelor Yesenia Altuve  
Bachelor Vanesa Ramirez  
Tutors: Teacher Mariela Aular  
Teacher Tulio Pottella  
Year: 2011

### ABSTRACT

The main objective of this degree thesis consists in developing proposed technical standards for the design of physical-chemical treatment plants wastewater. The type of investigation was documentary and descriptive study, in its mode of document analysis. The development of this proposal was based on a literature review, with a comprehensive compilation of all regulations found, decrees on downloads, design manuals, technical documents and articles related Internet systems primarily physical-chemical coagulation-flocculation is stressed as the most frequent as interviews with experts in the field, as well as those general recommendations to guide the design of treatment plants. An analysis of current conditions of several treatment plants and it was concluded based on the most common mistakes found that more importance should be taken with pH changes between matching and mixing tanks slow, and the dosage of polymers.

Descriptors: Standards, wastewater treatment, preliminary treatment, physical-chemical processes, grinding, flocculation-coagulation.

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiarme y estar siempre presente, darme salud y la fortaleza para lograr todos mis objetivos, por poner en mi camino a personas tan especiales que han ayudado a crecer como ser humano.

A la Ilustre Universidad de Carabobo que me permitió la oportunidad de formarme como profesional a través de una educación integral.

A mi mamá por ser una mujer excepcional, trabajadora, por todos los sacrificios que ha hecho durante toda su vida para que sus hijos tuviéramos lo mejor, por demostrarme con su Fortaleza y constancia que las todas metas se pueden alcanzar, por forjar en mi carácter, constancia y humildad que me ha llevado a lograr cada uno de mis objetivos.

A mi papá, hermano, amigos por estar presente, compartir y ayudarme a lo largo de la vida.

A Vanesa Ramírez mi compañera de tesis, por ser tan constante, brindándome su apoyo los buenos y malos momentos.

A la profesora Marilela Aular por asesorarnos en el trabajo de grado.

Yesenia C. Altuve T.

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme como un gran rayo de luz en el camino y ofrecerme la oportunidad de estar donde estoy parada, y permitirme estar rodeada de personas tan especiales, por bríndame la oportunidad de compartir con mis padres, con mis amigos, con mis compañeros y con un grupo de personas que me han sabido enseñar grandes cosas.

A mi segunda casa la Universidad de Carabobo que me concedió la oportunidad de formarme, que me brindo el apoyo de profesionales excelentes en cada una de las áreas de estudios.

A todas las personas que luchan por mantener un equilibrio ecológico en mundo, porque el verde es el color de moda, la naturaleza nos llama y esta es mi respuesta, espero que así podamos devolver cada vez mejor al ambiente lo que nos da, para que otros que nos vienen siguiendo puedan seguir disfrutando de esto y más.

*Ante la destrucción del planeta, tratamos de fomentar la conciencia ecológica. Cuiden lo que les rodea. Respeta el medio ambiente, y siempre pregúntate ¿Lo de medio ambiente será porque ya destruimos la mitad?*

*Vanesa Carolina Ramirez*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Ilustre Universidad de Carabobo que me permitió la oportunidad de formarme como profesional a través de una educación integral.

A la Prof. Mariela Aular, por su orientación, colaboración y dedicación en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Al Prof. Tulio Pottellá, por su valiosa colaboración en todo momento a lo largo de la carrera.

A los ingenieros entrevistados, que con su experiencia aportaron mucho en el desarrollo de este trabajo de grado.

Finalmente a todas las personas que de una u otra manera se cruzaron en nuestro camino, dándonos palabras de aliento y de apoyo.

Yesenia C. Altuve T.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera estancia a DIOS todopoderoso que de una u otra forma sabe como guiarme en el camino y me ha mantenido a su lado, siempre dándome fuerzas para continuar a pesar de los obstáculos de camino.

Agradezco a mis padres pues su determinación, entrega y humildad me han enseñado tanto y me han brindado la oportunidad de estar donde estoy en este momento, sin su sacrificio este logro no sería posible. Gracias por cada libro, cada cuaderno, cada lápiz, cada vez que me escucharon hablando de ecuaciones locas y estuvieron atentos aunque ni yo entendiera de lo está hablando, esta es la mejor respuesta que les puedo dar, una muestra de que el tiempo invertido no fue en vano y toda una vida no basta para agradecerles lo que han hecho por mí.

Agradezco a una persona muy especial a Margarita Núñez que a pesar de que ahora no está a veces siento muy cerca, dándome aliento, cada vez que la recuerdo surge en mí una sonrisa, gracias por escucharme tantas veces y por asegurarme que un día sería grande abuela.

A mis hermanos, Isabel y Jonathan cuyas enseñanzas siempre pueden alimentar el alma, y sus pasos son ejemplo a seguir, gracias por las risas y los momentos que hacen que lo malo solo sea pasajero.

A mi tía Iris que es como una segunda mamá que me dio alimento cuando lo quería y que de una u otra forma ha logrado marcar mi vida y abrir los ojos al mundo.

A la MSc. Ing. Mariela Aular cuya paciencia y dedicación la hace ser el modelo de profesor universitario a seguir, gracias por no desistir de explicarnos algo una y otra vez, gracias por sentarse con nosotras y dedicarnos un poco de su tiempo, el fruto de su colaboración esta en sus manos.

A los Ing. Tulio Pottella, MSc. Ing. Francisco Soto, Ing. Rafael Dautant, prof. Ivan Parra, Ing. Roberto Romero, Ing. Alonso Mendoza, entre otros por colaborarnos y compartir con nosotras un poco de su experiencia y conocimiento. De igual forma gracias a las distintas plantas de tratamiento que nos permitieron el acceso a las instalaciones y a la información de las mismas.

A mis compañeros, Pedro Campero, Alba Castro, Francisco Villalonga, Gonzalo Rubín, Gabriel De Guglielmo y Yesenia Altuve, gracias por el apoyo brindado y por compartir conmigo el camino al éxito, y hacer el trayecto más agradable, sé que ha llegado el momento en que nuestros senderos tienen que separarse pero siempre los tendré presente porque más que compañeros son mis amigos... A ustedes gracias totales.

*Vanesa Carolina Ramirez*

## Índice general

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
INDICE	xi
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS	xv
INTRODUCCION	1
CAPITULOS	
I EL PROBLEMA	
Planteamiento del problema	3
Objetivos de la investigación	
Objetivo General	6
Objetivos específicos	7
Justificación	7
Alcance	8
Limitaciones	9
II MARCO TEORICO	
Antecedentes de la investigación	10
Bases teóricas	
Normas técnicas	12
Agua residual	13
Características de las aguas residuales	14
Características físicas: Definición y aplicación	16
Características químicas: Definición y aplicación	19
Caudal de las aguas residuales industriales	23
Tratamiento de aguas	23
Pretratamiento	24
Tratamiento Primario (Físico-químico)	25
Operaciones físicas unitarias	25
Desbaste	25
Mezclado	27
Sedimentación	27
Flotación	31
Secado	32
Igualación	32

Procesos químicos unitarios	33
Precipitación química	33
Cloración	34
Intercambio iónico	35
Adsorción	36
Procesos electroquímicos	36
Proceso de floculación-coagulación	36
Marco normativo legal	35
	44
III MARCO METODOLOGICO	
Tipo de investigación	46
Diseño de la investigación	47
Descripción de la metodología	48
Población y muestra	49
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	51
IV DIAGNOSTICO	
Situación actual	53
Análisis de las entrevistas	60
Memoria fotográfica	62
V LA PROPUESTA	
Propuesta	95
Anexos	225
CONCLUSIONES	242
RECOMENDACIONES	244
BIBLIOGRAFIA	245

## Índice de tablas

	Página
Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	15
1 .	
2 . Técnicas e instrumentos de recolección de datos	51
3 . Valores de remoción	112
Operaciones y procesos unitarios para el tratamiento físico-químico	113
4 .	
5 . Eficiencia de las diversas unidades de proceso de tratamiento	114
6 . Preservativos y periodos mínimo de retenimiento	128
7 . Dimensiones de la canaleta Parshall	148
8 . Formulas para canaleta Parshall	149
9 . Eficiencia de las rejas	152
10 . Valores de b de Kirschmer	153
11 . Cantidad de material retenido	153
12 . Descripción de los dispositivos de desbaste	154
13 . Descripción de los dispositivos de tamices	155
14 . Características de los dilaceradores	158
15 . %De eliminación de DBO	174
16 . Valores de k desarrollados por Rushton	176
Eficiencia de remoción de DBO en el proceso de sedimentación	187
17 .	
18 . Remoción de sólidos en el proceso	188
19 . Valores de velocidad ascensional a caudal medio	189
20 . Velocidad ascensional a caudal máximo	190
21 . Tiempo de retención para caudal medio y máximo	191
22 . Valores para el diseño de sedimentador	192
23 . Relación entre variables del sedimentador	192
24 . Tabla de relaciones en sedimentadores	193
25 . Valores típicos de caudal	194
26 . Concentración de lodo	198
27 . Tiempo de retención de lodos	199
28 . Tiempo de digestión en función de la temperatura	204
29 . Factor de capacidad relativa en función de la temperatura	204
30 . Dosificación del cloro	207
Dosis de cloro para desinfección normal de aguas residuales	208
31 .	
32 . Dosis de luces ultravioletas recomendadas	211

## Índice de figuras

1 .	Clasificación de rango de tamaño de partículas en agua	18
2 .	Mecanismo de los polímeros en el agua	38
3 .	Aparato del franco de prueba	39
4 .	Esquema del dispositivo de prueba de jarra	40
5 .	Vista aérea del Lago de Valencia	63
6 .	Lemna en el Lago de Valencia	63
7 .	Vista del rio Guiare	64
8 .	Rio Guiare en periodo de lluvia	64
9 .	Sistema de desbaste planta "El Chorrito" edo. Miranda	65
10 .	Desarenador tipo ciclón Planta "El Chorrito"	65
11 .	Desarenador Ciclón Planta "El Chorrito"	66
12 .	Sedimentador Planta "El Chorrito"	66
13 .	Descarga final de la planta "El Chorrito"	67
14 .	Realización de pruebas en la planta "El Chorrito"	68
15 .	Prueba de sólidos sedimentables en "El Chorrito"	69
16 .	Muestra al final de tratamiento "El Chorrito"	69
17 .	Salida de lodos del tanque de sedimentación en "El Chorrito"	70
18 .	Filtro prensa "Los Chorritos"	70
19 .	Salida del filtro para "Los Chorritos"	71
20 .	Sistema de rejillas Planta "Los Guayos"	72
21 .	Tanque de mezcla	72
22 .	Lechos de secado de lodos	73
23 .	Tubería ranurada para drenaje de lechos de secado	73
24 .	Construcción del tanque de igualación	74
25 .	Lecho de secado	74
26 .	Junta de PVC de un bulbo en junta de construcción	75
27 .	Reactor biológico Población de Borburata	76
28 .	Aireadores superficiales en tanque de igualación	76
29 .	Separación de sólidos, Avícola "La Gausima"	77
30 .	Vertedero de rebose	78
31 .	Aireadores superficiales en tanque de igualación. Avícola "La Gausima"	79
32 .	Canaleta tipo Parshall, Avícola "La Gausima"	79
33 .	Reactor biológico Avícola "La Gausima"	80
34 .	Sedimentador secundario. Avícola "La Gausima"	80

35 .	Sistema de cloración avícola "La Guasima"	81
36 .	Canaleta Parshall. Avícola "La Guasima"	81
37 .	Biodiscos. Avícola "La Guasima"	82
38 .	Sedimentador secundario. Avícola "La Guasima"	83
39 .	Aireadores superficiales. Avícola "La Guasima"	83
40 .	Sistema de rejillas. Planta "Los Guayos"	84
41 .	Tanque de igualación aforados Parshall "Planta Coca-Cola"	84
42 .	Tanque de contacto. Planta "Coca-Cola"	85
43 .	Pruebas de laboratorio, cono de Imhoff	85
44 .	Tanque sedimentador. Planta Coca-cola en Panamá	86
45 .	Tanque de cloración. Planta "Coca-cola" en Panamá	86
46 .	Diagrama de PTAR "La Mariposa"	87
47 .	Caudal de entrada en la planta "La Mariposa"	87
48 .	Lodos Primarios "La Mariposa"	88
49 .	"Escalator" PTAR "La Mariposa"	89
50 .	Acumulación de sedimentos PTAR "La Mariposa"	90
51 .	Reuso del agua tratada	81
52 .	Vista de un reuso del agua tratada	91
53 .	Filtro banda (prensa)	92
54 .	Lecho de secado	93
55 .	Sistema de bombeo	93
56 .	Dilacerador	94
57 .	Lecho de secado	94
58 .	Composición de la canaleta Parshall	147
59 .	Calculo de K	178
60 .	Curva para calcular el valor de K	179

## INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales, son un conjunto de operaciones unitarias destinadas a la eliminación o reducción de los contaminantes y características no deseables en el agua, que brinda la oportunidad al ecosistema de mantenerse en equilibrio según (Arboleda Valencia, 2000)

El uso de las aguas residuales ha evolucionado desde su consideración como un simple desperdicio, a la idea actual de que el agua residual es un recurso que se pudiera aprovechar.

Los nuevos diseños de sistemas de tratamiento han obligado al trazado de principios básicos sobre los que se deben asentar las nuevas normas que deben guiar el diseño de las mismas para garantizar un óptimo desempeño.

Esta propuesta de normas técnicas surge como consecuencia de la ausencia de estándares que regulen los parámetros de diseño de sistemas físico-químicos en el país. También nace del hecho de que la tecnología produce que sistemas existentes se queden atrás en el tiempo y no se adopten a las condiciones actuales en las que se requieren aplicar, razón por la cual se realiza la propuesta.

En Venezuela, la ausencia de una normativa técnica que establezca los parámetros que deben tomarse en cuenta en el proyecto de diseño de plantas de tratamientos, así como también algunos criterios importantes de seguridad y estructura que se adapten a las limitaciones físicas, aunado a que según la investigación realizada a diversas plantas de tratamiento se demostró que no son las más adecuadas, esto comprende las causa de la realización de este trabajo.

En este trabajo de investigación se realiza la primera propuesta de Normas Técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en Venezuela.

Esta propuesta de Normas Técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales se basa en los lineamientos de normalizaciones técnicas y doctrinas nacionales e internacionales que establecen los criterios de diseño, así como la evaluación y control de los factores que componen las unidades de tratamiento y afectan la purificación del agua.

Con esta propuesta se busca estandarizar el diseño de los parámetros físico-químicos, realizando inversiones de capital verdaderamente productivas para el tratamiento, y optimizar las condiciones de las unidades que garanticen un mejor desempeño y rendimiento de las mismas, respondiendo así a una mejora en las condiciones de vida y en la salud pública.

Este planteamiento se realizó en cinco capítulos, los cuales según su contenido quedan distribuidos de la siguiente forma: Capítulo I, el cual aborda el planteamiento del problema, se establecen los objetivos de la investigación, se exponen los motivos que justifican la investigación y se determinan los factores limitantes y el alcance del estudio.

El Capítulo II, plantea el marco teórico, se citan los antecedentes a partir de estudios similares al propuesto; se establecen las bases teóricas referidas específicamente a la problemática del manejo de los desechos de papel con sus variables estudiadas.

En el Capítulo III, se presenta el tipo de investigación, ajustado al estudio donde se definen las fases del diseño establecidas para la solución del problema y las técnicas desarrolladas para estudiar el mencionado en cada

una de ellas. Mientras que en el Capítulo IV se analiza una fase de diagnóstico para finalmente en el Capítulo V se muestra la propuesta.

Finalmente de los datos extraídos del análisis, se establecen las conclusiones y las recomendaciones pertinentes al caso.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del Problema**

El agua es un recurso natural indispensable para el hombre, se sabe que el origen de la vida estuvo en el agua, donde se desarrollaron los primeros organismos que, al evolucionar, pudieron colonizar la Tierra, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), (2008).

Las grandes civilizaciones se desarrollaron a orillas de los grandes cursos de agua, necesaria para la agricultura que fue su base primaria, con el tiempo la calidad del agua disponible se vio afectada por el crecimiento de los mismos núcleos urbanos y por otros agentes externos, esto fue un factor decisivo para la búsqueda de agua lo más pura y limpia posible, siendo este un problema que se arrastra hasta la actualidad.

La escasez de agua y la contaminación de la misma es un problema que preocupa cada vez a más personas, la intervención del hombre en los ecosistemas obliga a realizar un llamado a la moderación de consumo por parte de la población a nivel mundial, las fuentes, los manantiales o las cuencas están en vía de extinción.

Para preservar lo que queda y recuperar el agua contaminada debe existir un equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento del vital

líquido a la población, el cual se puede obtener armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante su uso eficiente, pero el problema no termina ahí, a la disponibilidad se le añade la contaminación del agua como se ha mencionado anteriormente, lo que ha obligado a la ingeniería a realizar un avance en cuanto al saneamiento.

El campo de la ingeniería sanitaria se encuentra en un período evolutivo, en el cual antiguas ideas se vuelven a valorar, debido a que el agua residual de los pueblos y ciudades debe devolverse a la tierra o a las aguas del planeta. Entonces, es necesaria la eliminación de contaminantes en el agua residual para proteger el medio ambiente, y más allá de proteger al medio ambiente, proteger el desenvolvimiento de la especie humana. Recientemente, la misma escasez ha forzado a pensar en el agua residual no tanto como un desecho sino como un recurso.

Venezuela no escapa de la realidad que se vive a nivel mundial y la contaminación del vital líquido, actualmente en la ciudad de Valencia es notoria la problemática existente en cuanto a este recurso, ya que los receptores de agua residuales son los afluentes a los reservorios de agua para el consumo humano, entonces se hace obligatorio conocer los principios fundamentales implicados en el análisis de los efectos ambientales causados por las descargas de los contaminantes en el agua residual.

El proceso de tratamiento de agua residual debe realizarse con extrema delicadeza, dándole importancia a cada una de las etapas del proceso, en un principio los contaminantes biodegradables de las aguas residuales pueden ser degradados mediante procesos naturales o en sistemas de tratamientos hechos por el hombre en los que se acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica con microorganismos.

Estos sistemas de tratamiento se dividen en varias etapas: tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado. Se entiende por tratamiento preliminar a aquel destinado a la eliminación de desechos, fácilmente separables; tratamiento primario, busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química; secundario, se usa para reducir la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias (disminuir la demanda bioquímica de oxígeno) y terciario es el proceso que se usa como pulimento, para mejorar la calidad del agua o alguna característica que persista después de haber aplicado los tratamientos anteriores tal como la desinfección, según (Wikipedia, 1998)

A pesar de toda la importancia que tiene darle el debido tratamiento a las aguas residuales no existe una norma que regule el diseño de operaciones unitarias físico-químicas en plantas de tratamiento para tal fin, los procesos que se mencionaron como sistema primario, debido a esto se pueden estar diseñando sistemas de tratamiento costosos o ineficientes para el grado de contaminación actual del agua residual y es posible que sea la causa del aumento de diferentes enfermedades en los últimos años como diarrea, dermatitis y otras de origen hídrico. ((OMS), 2010)

En cuanto a esto es primordial recalcar que en América Latina y el Caribe, los riesgos epidemiológicos relacionados con el consumo de agua contaminada por gérmenes muy virulentos, así como la existencia de otras enfermedades de origen hídrico resultantes de la contaminación microbiológica de las aguas de consumo humano causan un gran impacto en la población. Por ello se debe asegurar protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico mediante la desinfección, proceso que se aplica cuando no se puede garantizar su potabilidad natural de forma permanente, pero en ello influye también lo que se mencionaba inicialmente que los reservorios de agua potable es donde se realizan las descargas de agua

residual, por esta razón para satisfacer las necesidades de agua potable es fundamental el tratamiento que se le dé a las aguas servidas.

En la presente investigación se tiene la intención que partiendo de un conocimiento bibliográfico realizar una propuesta de normas técnicas para la realización de proyectos de diseño de tratamiento de agua residual.

Luego de lo expuesto cabe preguntarse:

¿Cómo se puede conocer la necesidad de crear normas técnicas que regulen los sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de agua residuales de origen industrial?

¿Qué normativas internacionales regulan el diseño de plantas de tratamiento de agua residual?

¿Cuáles son los sistemas físico-químicos más usados según el tipo de agua residual?

¿Cómo se realiza el diseño de sistemas físico-químicos habitualmente utilizados?

¿De qué manera se puede garantizar un mejor diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de agua residuales industriales?

## **Objetivos de la investigación**

### **Objetivo General**

Realizar una propuesta de normas técnicas para el diseño de sistemas físicos químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales.

## **Objetivos Específicos**

1. Diagnosticar la necesidad de establecer unas normas que regulen los sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales.
2. Analizar las normativas internacionales que regulan el diseño de sistemas de tratamiento de las aguas residuales con el propósito de determinar criterios que sirvan de soporte para la propuesta.
3. Establecer los sistemas físico-químicos habitualmente usados según el tipo de agua residual a tratar.
4. Investigar cómo se lleva a cabo el diseño de las unidades habitualmente usadas en los sistemas físico-químicos.
5. Proponer las normas técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales.

## **Justificación**

El tema del tratamiento de agua ha captado interés en distintas partes del mundo al pasar de los años, por lo que se han desarrollado numerosos estudios sobre el adecuado tratamiento que se le debe dar al agua.

La presente investigación tiene su origen en la acción práctica que tiene la ingeniería sanitaria en la actualidad en cuanto al diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, se quiere con ella plantear una serie de parámetros a considerar a la hora de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales.

En Venezuela lamentablemente no se cuenta con una guía adecuada que explique cómo se debe realizar el proyecto de un sistema de tratamiento de las aguas.

El aporte de la investigación viene dado en identificar los procesos físico-químicos unitarios implicados en tratamiento del agua, con el fin de minimizar las debilidades encontradas en el presente y además disminuir los daños que puedan causar los contaminantes que contienen las aguas.

Más allá de los beneficios en la práctica, es importante destacar las consecuencias a nivel social que se pueden presenciar, la muerte de plantas y animales, así como distintas enfermedades en el hombre, donde destaca la diarrea, la fiebre tifoidea y el cólera, (Sagan-Gea, 2010) sostiene que son resultados de la contaminación del agua, por ende el tratamiento y el control de las descargas en los cuerpo de agua cobran vital valor para el ser humano.

### **Alcance y limitaciones**

En la presente investigación se analizarán los procesos físico-químicos de sistemas de tratamiento con el fin de evaluar cada uno de ellos, de allí el alcance se puede visualizar desde varias dimensiones.

Con relación al contenido, la investigación abarca una serie de aspectos que se analizan con el desarrollo de la misma, tales como; las características físicas y químicas, las propiedades del caudal, el desarrollo de cada una de las unidades para los procesos físico-químicos, y el mejoramiento para el funcionamiento de cada una de ellas. Si bien es cierto que existe un gran número de unidades y las mismas van mejorando a medida que avanza la tecnología se le dará prioridad a mecanismos fabricados en el país y se estudiarán las siguientes unidades: desbaste (rejas, tamices y trituradores), desarenadores, tanques separadores de grasa, mezcladores, coagulación-floculación, tanques de sedimentación, absorción, precipitación química, flotación y de Imhoff.

En la presente investigación no se incluirán, los materiales a utilizar para su construcción, además no se indicará la ubicación geográfica de la planta de tratamiento, factores influyentes en el diseño. Por otro lado factores externos al diseño de las unidades en sí, instalaciones como sala de bomba, sala de control, no están contemplado, así como la ventilación, iluminación, accesos y escaleras, señalización, equipos de protección contra incendios y movilización, drenaje de pisos, aislamiento acústico, se le dará sugerencias basándose en que existen normas en el país que regulen su diseño.

Por otro lado los aspectos de operación, mantenimiento, si bien es cierto que deben quedar a cargo de un ente regulador, no se señalan como parte de la investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### Antecedentes de la Investigación

A continuación se citan una serie de investigaciones realizadas previamente que contienen información de utilidad para llegar a cabo esta investigación. Los estudios de estas constituyen el marco referencial en el cual se sustenta la misma.

Pottellá Pottellá, Tulio (2007) **“Propuesta de normas técnicas nacionales para el reuso del agua residual tratada”** comprende un modelo operativo viable que permitirá satisfacer las necesidades de los profesionales de la ingeniería, como también de instituciones públicas y privadas a la hora de buscar nuevas fuentes de suministro de agua para actividades que se abastecen tanto del acueducto público como mediante la explotación de pozos profundos. En líneas generales tuvo como objetivo el establecimiento de los requisitos mínimos a ser exigidos en la calidad y destino final que debe tener el agua residual tratada, a través del desarrollo de lineamientos contentivos de aspectos de carácter técnicos sanitarios - ambientales y educativos. Por lo que es de interés de estudio en la propuesta, pues también ofrece una norma de carácter ambiental y sanitario.

Caruana, Marco e Hidalgo, Kharen (2007) **“Propuesta de normas técnicas para el diseño de bibliotecas en Venezuela”**, en esta investigación se desarrolla una propuesta de normas técnicas para el diseño

de bibliotecas en Venezuela, se realizó una revisión bibliográfica, haciendo una recopilación exhaustiva de toda la información, con lo que se concluye que dicha propuesta garantiza la realización de un óptimo diseño para bibliotecas y se recomienda adecuar la biblioteca central de la facultad de ingeniería la cual fue estudiada, dado que este antecedente comprende una norma técnica aporta parámetros y consideraciones generales que debe tener una norma técnica, es decir da una base en cuanto a redacción y por otro lado favorece las técnicas de recolección de datos y en análisis ya que es similar a la presente propuesta.

En el mismo orden de ideas, Maldonado Víctor (2005) realizó un manual titulado “**Avances de sedimentación. Curso sobre tecnologías de tratamiento de agua para países en desarrollo.**” En este manual se explica detalladamente los conceptos básicos de la sedimentación como proceso para la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua, donde conceptualiza y ejemplifica los distintos procesos: como la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculantes, sedimentación por caída libre e interferida mostrando las distintas unidades utilizadas. La contribución del manual descrito, radica en la perspectiva que se le da al cálculo de los sedimentadores, que son fundamentales en el tratamiento de aguas residuales.

### **Bases teóricas**

Esta parte de la investigación tiene por objeto desarrollar los aspectos validos sobre los cuales se fundamenta el trabajo de investigación. Su importancia radica en la constitución de fundamentos teóricos que no requieren de comprobación empírica y que suministran insumos importantes, que representas un punto de vista sistemático para explicar el estudio.

## **Normas Técnicas**

Según Unizar (2006):

“Se entiende por normas técnicas los documentos que contienen especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico. Las normas son el fruto del consenso entre todas las partes interesadas e involucradas en la actividad objeto de la misma (fabricantes, administración, consumidores, laboratorios, centros de investigación). Además, debe aprobarse por un Organismo de Normalización reconocido. Los principales organismos que elaboran normas son los organismos nacionales de normalización.”

## **Agua residual**

“El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación” según (Wikipedia, 1998).

A las aguas residuales también se les llama aguas fecales, servidas o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. El

término aguas negras también es equivalente debido a la coloración oscura que presentan.

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos mg/litro en el agua de lluvia a cerca de 35 mg/litro en el agua de mar. A esto hay que añadir, en las aguas residuales, las impurezas procedentes del proceso productor de desechos, que son los propiamente llamados vertidos. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

La composición y su tratamiento pueden diferir mucho de un caso a otro, por lo que en los residuos industriales es preferible la depuración en el origen del vertido que su depuración conjunta posterior.

El agua residual tiene una influencia sobre el medio que se encuentra pues produce una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica, esto puede ser producto de:

- Vertido de sustancias orgánicas degradables: producen una disminución del oxígeno disuelto, ya que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio: se consume oxígeno combinado en lugar de molecular, creándose un ambiente reductor, con la aparición de amoníaco, nitrógeno y ácido sulfhídrico, y la reducción de sulfatos a sulfuros; el agua se torna oscura, de olor desagradable y con gérmenes patógenos.
- Incorporación de compuestos tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Eliminan los organismos depuradores, o bien inhiben su desarrollo impidiendo reacciones enzimáticas. Intoxican también a

varios niveles de la cadena trófica, desde microorganismos hasta animales superiores.

- Incorporación de materia en suspensión, que reduce la entrada de luz y atasca los órganos respiratorios y filtros de muchos animales.
- Alteración del equilibrio salino (balance en sodio, calcio, entre otros) y del pH.

### ***Características de las aguas residuales***

Cuando se habla de composición del agua se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el agua residual. Según la cantidad de estos componentes se puede clasificar un agua como fuerte, media o débil. Algunas características físicas, químicas y biológicas son:

**Tabla 1.**

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

Parámetro	Origen
<b>Físicas</b>	
Sólidos	Suministro de agua domestico, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
<b>Químicas</b>	
<b>Orgánicos:</b>	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Grasas animales, aceites y grasas minerales	Residuos industriales, comerciales y domésticos

Agentes tenso activos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
<b>Inorgánicos:</b>	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua domestico, residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Alcalinidad	Suministro de agua domestico, residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fosforo	Residuos industriales y domésticos, derrame natural
Azufre	Suministro de agua domestica y residuos industriales
Compuestos tóxicos	Residuos industriales, infiltración de agua de subterránea
Metales pesados	Residuos industriales
<b>Gases:</b>	
Oxigeno	Suministro de agua domestica, infiltración de agua de superficie
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de aguas domesticas
Metano	Descomposición de aguas domesticas
<b>Biológicas</b>	
Protistas	Residuos domésticos, planta de tratamiento
Virus	Residuos domésticos
Plantas	Corriente de agua al descubierto y planta de tratamiento
Animales	Corriente de agua al descubierto y planta de tratamiento

*Nota.* (Metcalf-Eddy, 1977)

### ***Características físicas: Definición y aplicación***

La característica física más importante del agua residual es su contenido de total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en

suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características físicas son la temperatura, color y olor.

### *Sólidos del agua*

Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la carga de sólidos. Pueden ser de naturaleza orgánica y/o inorgánica. Proviene de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales. La definición generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado, a una temperatura de 103°C a 105°C. Los métodos para la determinación de sólidos son empíricos, fáciles de realizar y están diseñados para obtener información sobre los diferentes tipos de sólidos presentes.

Sólidos Totales (ST), consisten en la cantidad de materia que queda como residuo después de una evaporación entre los 103°C a 105°C.

Sólidos Volátiles (SV), los sólidos totales sometidos a combustión a una temperatura de 600°C, durante 20 minutos, transforman la materia orgánica a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil (SV), los sólidos que no volatilizan se denominan sólidos fijos (SF).

Sólidos suspendidos (SS), constituyen uno de los límites que se fijan a los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los SS se determinan como la cantidad de material retenido después de filtrar un determinado volumen de muestra (50 ml) a través de crisoles "GOOCH" o filtros de fibra de vidrio que utilizan como medio filtrante. En la actualidad se prefiere utilizar filtros de membrana con un tamaño de poro de aproximadamente 1.2 micrómetros ( $1.2 \times 10^{-6}$  metros).

Sólidos sedimentables, los sólidos sedimentables son el grupo de sólidos cuyos tamaños de partícula corresponde a 10 micras o más y que pueden sedimentar.

El esquema mostrado da una clasificación de los sólidos más clara en cuanto a los tamaños de partículas:

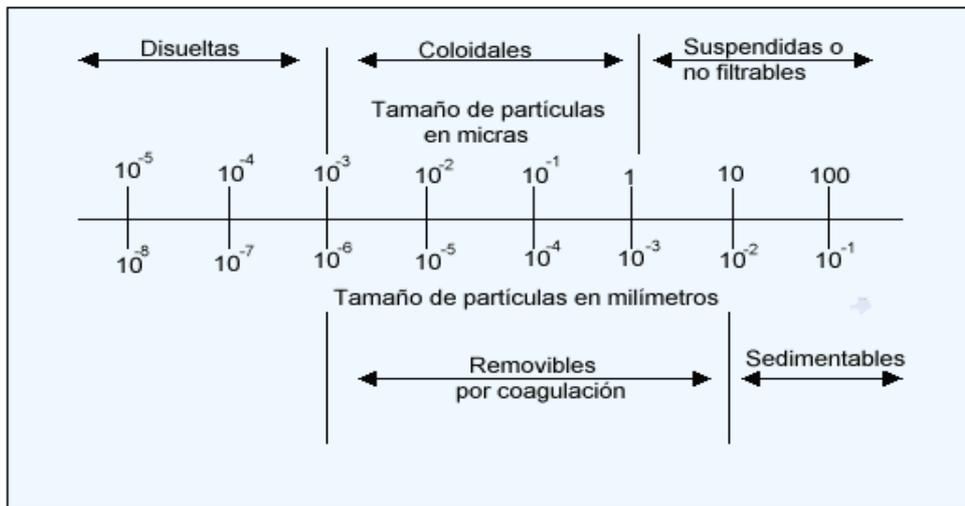


Figura 1. Clasificación de rango de tamaño de partículas en agua. Nota. <http://quimica.utn.edu.mx> (2011)

### Turbidez

Es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos, es debido a dispersiones normales.

### *Temperatura*

La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y de actividades industriales, un líquido caliente que vierte a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de reacciones químicas, en la vida de la flora y la fauna acuática, en los usos del agua. Incide en los procesos biológicos, la temperatura óptima para el desarrollo bacteriano se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C.

### *Color*

Es una característica física que indica generalmente la presencia en el agua de sustancias disueltas y/o coloidales y/o suspendidas (color aparente). Cuando se elimina la turbiedad del agua por centrifugación o filtración se obtiene el color real. Da en general un aspecto desagradable al agua residual.

### *Olor*

Es una característica física que se debe generalmente a la presencia de sustancias inorgánicas y/u orgánicas en suspensión o disolución, que poseen olor en sí mismas o de sustancias que pueden generar emisiones de gases, y/o a organismos microscópicos. Es causa de rechazo y de sospecha de contaminación.

## ***Características químicas: Definición y aplicación***

### *Materia orgánica*

La mayoría de la materia orgánica que contamina el agua procede de desechos de alimentos, de aguas servidas domésticas y de fábricas y es descompuesta por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Ese proceso de descomposición ocurre tanto en el agua como en la tierra y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que requieren oxígeno para transformar sustancias ricas en energía en sustancias pobres en energía. El oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática.

Una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica (sirve como nutriente y requiere oxígeno para su descomposición) es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana y se le denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

La DBO de una muestra de agua expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno

disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

### *Materia inorgánica*

Varios componentes de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de calidad del agua. Las concentraciones de sustancias inorgánicas en el agua aumentan por la formación geológica con la que el agua entra en contacto y también por las aguas residuales tratadas o sin tratar, que se descargan en ellas. Las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos que se añaden en el ciclo de su utilización. Las concentraciones de estos compuestos inorgánicos aumentan igualmente debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua conviene examinar la naturaleza de algunos, especialmente los añadidos al agua superficial por el ciclo de su utilización.

### pH

La palabra pH es la abreviatura de "pondus Hydrogenium". Esto significa literalmente el peso del hidrógeno. El pH es un indicador del número de iones de hidrógeno. Tomó forma cuando se descubrió que el agua estaba formada por protones ( $H^+$ ) e iones hidroxilo ( $OH^-$ ).

El pH no tiene unidades; se expresa simplemente por un número. Cuando una solución es neutra, el número de protones iguala al número de iones hidroxilo. Cuando el número de iones hidroxilo es mayor, la solución es básica, cuando el número de protones es mayor, la solución es ácida.

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8.

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones  $H^+$ ) y el número de iones hidroxilo ( $OH^-$ ). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7. El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución. El pH es un factor logarítmico; cuando una solución se vuelve diez veces más ácida, el pH disminuirá en una unidad.

### Cloruros

El ión cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas residuales, en concentraciones que varían desde unos pocos ppm hasta varios gramos por litro. Este ión ingresa al agua en forma natural mediante el lado que las aguas de lluvia realizan sobre el suelo.

## Acidez y Alcalinidad

La acidez de un agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles. La alcalinidad de un agua corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos de hidróxidos.

La depuración de las aguas residuales es un proceso que persigue eliminar en la mayor cantidad posible la contaminación que lleva un vertido antes de que éste incida sobre un cauce receptor, de forma que los niveles de contaminación que queden en el efluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural.

## Nitrógeno y Fosforo

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

### ***Caudal de las aguas residuales industriales***

Existen fluctuaciones en el consumo de agua, si bien es importante conocer la cantidad media de consumo de agua, resulta de aun mayor utilidad disponer de datos sobre las fluctuaciones de consumo. La tasa máxima del consumo de agua tiene lugar generalmente durante los meses calurosos o como es lógico en los de mayor demanda en cuando al producto manufacturado. Además de las fluctuaciones anuales, se deben considerar las variaciones horarias, en razón de su efecto sobre el caudal de aguas residuales.

Normalmente la curva de consumo de agua, es muy parecida a la curva de descarga. Sin embargo en algunos lugares, las industrias utilizan cantidades de agua procedentes de suministros no públicos, que se vierten a los desagües durante las jornadas laborales.

En conclusión las cantidades de agua residuales de tipo industrial varían según el tipo y tamaño de la industria. Los caudales punta son frecuente y pueden reducirse mediante el empleo de tanques de retención y de homogenización. Las grandes industrias tienen a reutilizar sus aguas residuales para irrigación de jardines y enfriamiento de algunos procesos con lo que reducen el caudal.

### **Tratamiento de aguas**

Metcalf-Eddy (1977) afirmó que:

“En ingeniería ambiental el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final”.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

## ***Pretratamiento***

El pretratamiento de las aguas residuales es el primer proceso realizado de acondicionamiento de las aguas. Este incluye equipos tales como rejas y tamices (para la separación de partículas de gran tamaño, como botellas de plástico, bolsas, hojas y ramas, entre otros), desarenadores (para eliminar la arena presente en las aguas residuales) y desgrasadores (para eliminar grasas y aceites).

## **Tratamiento Primario (Físico-químico)**

### ***Operaciones físicas unitarias***

Son los primeros métodos empleados en el tratamiento del agua residual; en ellos predomina la acción de las fuerzas físicas, siendo el desbaste, mezclado, la floculación, la sedimentación, la flotación, elutriación, filtración al vacío, transferencia térmica y secado.

#### ***Desbaste***

La primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento es la operación de desbaste. Una rejilla es un elemento con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual.

Los elementos separadores pueden estar constituidos por barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas perforadas, y las aberturas pueden ser de cualquier forma, aunque normalmente suelen ser ranuras rectangulares u orificios circulares. Los elementos formados por varillas o barras paralelas reciben el nombre de rejas de barrotes.

El término tamiz se circunscribe al uso de placas perforadas y mallas metálicas de sección cuneiforme. La función que desempeñan las rejas y

tamices se conoce con el nombre de desbaste, y el material separado en esta operación recibe el nombre de basuras o residuos de desbaste. Según el método de limpieza que se emplee, los tamices y rejas pueden ser de limpieza manual o automática. Generalmente, las rejas tienen aberturas (separación entre las barras) superiores a 15 mm, mientras que los tamices tienen orificios de tamaño inferior a este valor.

Rejas, en los procesos de tratamiento del agua residual, las rejas se utilizan para proteger bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra los posibles daños y obturaciones provocados por la presencia de trapos y de objetos de gran tamaño. Las plantas de tratamiento de aguas industriales pueden no precisar la instalación de rejas, dependiendo de las características de los residuos.

Tamices, los primeros tamices eran de disco inclinado o de tambor, y se empleaban como medio para proporcionar tratamiento primario, en lugar de tanques de sedimentación. El mecanismo de separación consistía en placas de bronce o de cobre con ranuras fresadas. Desde principios de los años setenta, el interés por el uso de todo tipo de tamices en el campo del tratamiento de las aguas residuales ha experimentado un considerable aumento. Su campo de aplicación se extiende desde el tratamiento primario hasta la eliminación de los sólidos en suspensión residuales de los efluentes procedentes de los procesos de tratamiento biológicos. Este renovado interés ha surgido, en gran medida, como consecuencia de la mejora en los materiales y en los dispositivos disponibles para el tamizado, además de la continua investigación realizada en este campo.

### *Mezclado*

Es una importante operación unitaria en muchas fases del tratamiento de agua residuales en la que una sustancia es totalmente entremezclada con otra.

El mezclado de un líquido puede realizarse de varias formas: 1) en resaltos hidráulicos en canales; 2) en tubos tipos Venturis; 3) en conducciones; 4) en bombas; 5) en recipientes con ayuda de medios mecánicos.

### *Floculación*

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floculo suficientemente grande y pesado como para sedimentar. El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

### *Sedimentación*

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente.

Análisis de la sedimentación de partículas discretas (Tipo 1), la sedimentación de partículas discretas no floculantes puede analizarse mediante las leyes clásicas formuladas por Newton y Stokes. La ley de Newton proporciona la velocidad final de una partícula como resultado de igualar el peso efectivo de la partícula a la resistencia por rozamiento o fuerza de arrastre.

Análisis de la sedimentación floculenta (Tipo 2), en soluciones relativamente diluidas, las partículas no se comportan como partículas discretas sino que tienden a agregarse unas a otras durante el proceso de sedimentación. Conforme se produce la coalescencia o floculación, la masa de partículas va aumentando, y se deposita a mayor velocidad. La medida en que se desarrolle el fenómeno de floculación depende de la posibilidad de contacto entre las diferentes partículas, que a su vez es función de la carga de superficie, de la profundidad del tanque, del gradiente de velocidad del sistema, de la concentración de partículas y de los tamaños de las mismas. El efecto de estas variables sobre el proceso sólo se puede determinar mediante ensayos de sedimentación.

Para determinar las características de sedimentación de una suspensión de partículas flocúlicas se puede emplear una columna de sedimentación. El diámetro de la misma puede ser cualquiera, pero su altura deberá ser la misma que la del tanque de sedimentación de que se trate. Se han obtenido buenos resultados empleando un tubo de plástico de 15 cm. de diámetro por unos 3 m de altura. Los orificios de muestreo deben colocarse cada 0,5 m. La solución con materia en suspensión se introduce en la columna de modo que se produzca una distribución uniforme de tamaños de las partículas en toda la profundidad del tubo.

También es necesario cuidar de que la temperatura se mantenga uniforme durante el ensayo, con objeto de evitar la presencia de corrientes de convección. La sedimentación debe tener lugar en condiciones de reposo. La retirada de muestras, y su posterior análisis para conocer el contenido total de sólidos, se realizan a diferentes intervalos de tiempo. Para cada muestra analizada se calcula el porcentaje de eliminación, y los resultados se representan en una gráfica en función de la profundidad y el tiempo en que

se ha tomado la muestra, siguiendo un sistema análogo al de la representación de cotas en un plano topográfico. Una vez dibujados los puntos, se trazan las curvas que pasan por los puntos de idéntico porcentaje de eliminación.

Análisis de la sedimentación zonal o retardada (Tipo 3), en los sistemas que contienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión, además de la sedimentación libre o discreta y de la sedimentación floculenta, también suelen darse otras formas de sedimentación, como la sedimentación zonal (Tipo 3) y la sedimentación por compresión (Tipo 4). El fenómeno de sedimentación que ocurre cuando se introduce en un cilindro graduado una suspensión concentrada, con concentración inicialmente uniforme.

Debido a la alta concentración de partículas, el líquido tiende a ascender por los intersticios existentes entre aquéllas. Como consecuencia de ello, las partículas que entran en contacto tienden a sedimentar en zonas o capas, manteniendo entre ellas las mismas posiciones relativas. Este fenómeno se conoce como sedimentación retardada. Conforme van sedimentando las partículas, se produce una zona de agua relativamente clara por encima de la región de sedimentación.

Las partículas dispersas, relativamente ligeras, que permanecen en esta región sedimentarán como partículas discretas o floculadas. En la mayoría de los casos, se presenta una interfase bien diferenciada entre la zona de sedimentación discreta y la región de sedimentación retardada. La velocidad de sedimentación de la zona de sedimentación retardada es función de la concentración de sólidos y de sus características.

A medida que avanza el proceso de sedimentación, comienza a formarse en el fondo del cilindro una capa de partículas comprimidas, en la

zona de sedimentación por compresión. Aparentemente, las partículas de esta región forman una estructura en la que existe contacto entre ellas. Al formarse la región o capa de compresión, las capas en las que las concentraciones de sólidos son, sucesivamente, menores que en la zona de compresión tienden a ascender por el tubo. Por lo tanto, de hecho, la zona de sedimentación zonal o retardada presenta una graduación de concentraciones de sólidos comprendida entre la zona de compresión y la de sedimentación.

Análisis de la sedimentación por compresión (Tipo 4), el volumen necesario para el lodo de la región de compresión también suele determinarse mediante ensayos de sedimentación. Se ha comprobado que la velocidad de sedimentación en esta región es proporcional a la diferencia entre la altura de la capa de lodo en el tiempo y la altura del lodo transcurrido un período de tiempo prolongado.

### *Flotación*

Es una operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas y sólidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula y burbujas de gas es tal, que hace que la partícula suba a la superficie.

La actual práctica de flotación, tal y como se aplica al tratamiento de aguas residuales municipales, se limita al uso del aire como agente de flotación. Las burbujas de aire se añaden, o se inducen su formación, por alguno de los métodos siguientes:

*Flotación por aire*, en este sistema, las burbujas de aire se forman introduciendo la fase gas directamente en la fase líquida por medio de un

impulsor giratorio o de difusores. La aireación por su sola durante periodo de tiempo no especialmente eficaz para conseguir la flotación de sólidos.

*Flotación por aire disuelto*, en este sistema, el aire se disuelve en el agua residual bajo una presión de varias atmosferas, y a continuación se procede a la liberación de la presión hasta el nivel atmosférico.

*Flotación por vacío*, consiste este proceso en saturar el agua residual bien directamente en un tanque de aireación o permitiendo que el aire entre en el conducto de aspiración de una bomba de aguas residuales. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas. Las burbujas y las partículas sólidas adheridas suben a la superficie formando una capa de espuma, que se elimina mediante un rascador superficial.

### *Secado*

El secado es una operación unitaria que consiste en reducir el contenido de agua por vaporización de ésta al aire del ambiente. En los lechos de secado, las diferencias de presión del vapor son la causa de la evaporación a la atmósfera. Existen distintos tipos de secado según los dispositivos a usar:

*Secado instantáneo*, esta operación supone la pulverización del lodo en un molino o bien mediante una técnica de suspensión atomizada en presencia de gases calientes.

*Secadores rotativos*, diversas instalaciones han utilizado secadores de horno rotativo para el secado del lodo, el secado y quemado de residuos industriales y basuras. Se han desarrollado muy diferentes tipos de procesos para los procesos industriales incluyendo los de calentado directo en los que el material se seca se halla en contacto con gases calientes.

*Incinerador*, con frecuencia se utiliza un incinerador de pisos múltiples para secar y quemar lodos que previamente han sido parcialmente deshidratados por filtración al vacío. Consiste en una operación a contracorriente en la que el aire caliente y los productos de combustión atraviesan el lodo finamente pulverizado que se va rastrillando de forma continua para que quede expuesto a la acción de aquellas en toda su superficie.

### *Igualación*

Las variaciones horarias del gasto de agua residual pueden tener un efecto adverso en el funcionamiento de los procesos de la planta; el cambio constante de la cantidad y concentración del agua residual a ser tratada propicia que la operación eficiente de los procesos sea difícil. Además, muchas unidades de tratamiento tendrían que diseñarse para las condiciones de gasto máximo extraordinario, provocando su sobredimensionamiento para las condiciones promedio.

Para prevenir esta situación, es conveniente considerar en el proyecto la construcción de un tanque que de igualación u homogeneización, cuya función es amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme. La igualación se puede usar también para amortiguar las variaciones en el pH y en la concentración de constituyentes tóxicos presentes en el agua residual a tratar. La igualación del gasto no es un proceso de tratamiento per se, pero puede mejorar significativamente el funcionamiento de una planta existente e incrementar su capacidad útil. En el proyecto de plantas nuevas, la igualación del gasto puede reducir el tamaño y costo de las unidades de tratamiento.

## ***Procesos químicos unitarios***

### *Precipitación química*

La precipitación química en el tratamiento de las 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.

En el pasado se utilizaba la precipitación química para mejorar el grado de eliminación de los sólidos suspendidos y de la DBO en los siguientes casos 1) cuando se producían variaciones estacionales en la concentración del agua residual 2) cuando se requería un grado intermedio de tratamiento y 3) como ayuda al proceso de sedimentación. (Mijares, 1967)

### *Cloración*

Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl), el hipoclorito sódico ( $\text{NaOCl}$ ), el hipoclorito de calcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ), y el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ). Los hipocloritos sódico y cálcico se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el coste.

El hipoclorito de sodio también se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplea en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco). A pesar de que también se emplean otros compuestos del cloro, el análisis que sigue a continuación se limitará al estudio de la aplicación de cloro gas, por ser la forma más extensamente adoptada. El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoníaco y de que sea un fuerte agente oxidante, complica bastante el mantenimiento de una

cantidad residual (combinado o libre) para la desinfección de las aguas residuales.

Al ir añadiendo cloro, las sustancias que reaccionan con facilidad, como el  $\text{Fe}^{+2}$ , el  $\text{Mn}^{+2}$ , el  $\text{H}_2$ , S o la materia orgánica, reaccionan con el cloro y lo reducen en gran parte a ion cloruro (tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continuará reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas. Para relaciones molares entre cloro y amoníaco inferiores a 1, se formará monocloramina y dicloramina.

(Escobar, 2003) Aseguró:

“La distribución de estas dos formas viene dictada por sus velocidades de formación, que son función de la temperatura y del pH. Entre el punto B y el punto de breakpoint, algunas de las cloraminas se transforman en tricloruro de nitrógeno (mientras que las restantes cloraminas se oxidarán a óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y el cloro se reducirá a ion cloruro. Si se continúa añadiendo cloro, todas las cloraminas se oxidarán en el breakpoint.

La adición de cloro más allá del breakpoint, producirá un aumento del cloro libre disponible directamente proporcional al cloro añadido (hipoclorito sin reaccionar). La razón principal para añadir suficiente cloro como para obtener cloro residual libre radica en que se asegura que se alcanzará la desinfección. En ocasiones, debido a la formación de tricloruro de nitrógeno y de sus compuestos afines, las operaciones de cloración al breakpoint han presentado problemas de olores. La presencia de compuestos adicionales durante la cloración da lugar a la reacción con la alcalinidad del agua residual y, en casi todos los casos, la reducción del pH será pequeña. La presencia de compuestos adicionales que reaccionen con el cloro puede alterar significativamente la forma de la curva del breakpoint. La cantidad de cloro que se debe añadir para alcanzar un nivel de cloro residual determinado recibe el nombre de demanda de cloro.”

### *Intercambio Iónico*

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante. Generalmente, usado para la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típicos la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar.

### *Adsorción*

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. (Metcalf-Eddy, 1977)

### *Procesos electroquímicos*

Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo.

Se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de lodos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

## Proceso de Coagulación-Floculación

La coagulación y floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamados flóculos tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar, para que finalmente se le aplique un proceso de sedimentación o flotación.

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

- Neutralización de la carga del coloide.

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga. Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ión coagulante. Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba y Mg, bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na, monovalente; y, a su vez, el Fe y Al, trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes.

Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ión cloruro,  $\text{Cl}^-$ , monovalente, el sulfato,  $(\text{SO}_4)^{-2}$ , divalente, y el fosfato,  $(\text{PO}_4)^{-3}$ , trivalente.

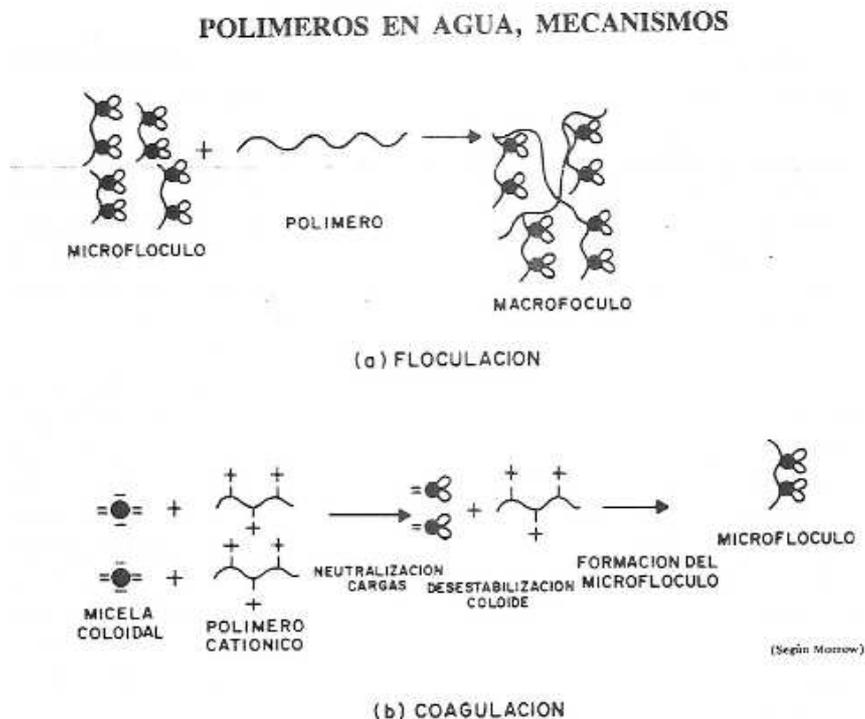
- Inmersión en un precipitado o flóculos de barrido.

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación:

- o EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.



**Figura 2. Mecanismo de los polímeros en el agua.**  
 Nota. (Metcalf-Eddy, 1977)

- Agitación rápida de la mezcla.

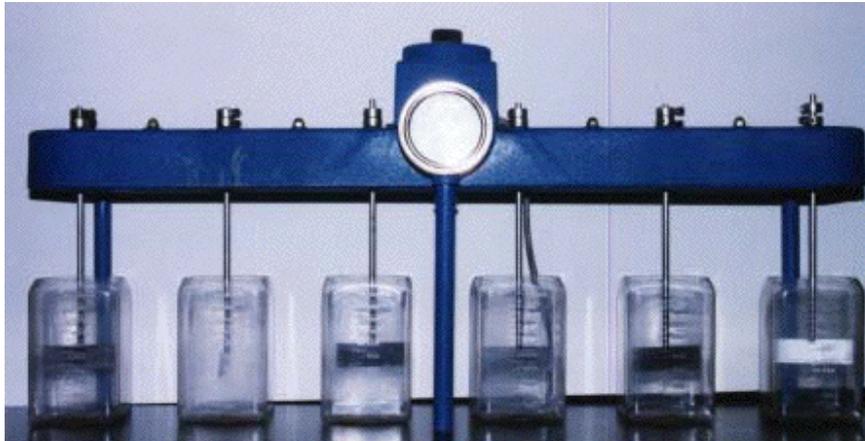
Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto.

La selección del coagulante y la dosis exacta necesaria en cada caso, sólo puede ser determinada mediante ensayos de laboratorio mediante la prueba de jarra.

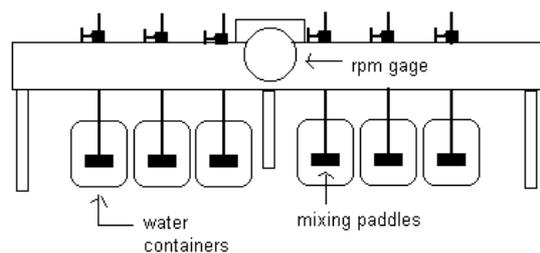
La prueba de jarras, se usa para la determinación del comportamiento del agua frente al tratamiento de coagulación química, así como la determinación de las dosificaciones de coagulante y otros compuestos químicos necesarios en dicho proceso.

Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.



**Figura 3. Aparato de la prueba de jarra**  
*Nota.* Polonia Jenny

El aparato de prueba de jarra que se muestra en la figura 3 contiene seis remos que remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores, esto se muestra en la figura 4.



**Figura 4. Esquema del dispositivo de prueba de jarra**  
*Nota.* (Wikilibros, 2002)

Los procedimientos de prueba de jarras incluyen los siguientes pasos:

1. Llene los recipientes de prueba frasco aparato con la muestra de agua. Un contenedor se utilizará como control mientras que los otros cinco contenedores se puede ajustar dependiendo de qué condiciones se encuentran en evaluación. Por ejemplo, el pH de los frascos se puede ajustar o variaciones de las dosis de coagulante se puede agregar a determinar las condiciones óptimas de funcionamiento.
2. Añadir el coagulante a cada contenedor y agitar a aproximadamente 100 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor. Coagulantes son aditivos químicos, tales como sales metálicas, que ayudan a producir más pequeños agregados para formar partículas más grandes.
3. Reducir la velocidad de agitación de 25 a 35 rpm y continúe batiendo por 15 a 20 minutos. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes flóculos. Estas velocidades son lo suficientemente lento como para evitar Sheering del flóculo debido a la turbulencia causada por la agitación de ayunar.
4. Apague los mezcladores y permitir que los contenedores que conformarse con 30 a 45 minutos. A continuación, medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple vista o con más precisión usando un nefelómetro.

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de floculación pericinética o por convección natural. Es muy lenta.
- Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina floculación ortocinética o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del floculo (floculo más pesado y voluminoso).

Hay diversos factores que influyen en la floculación:

- Coagulación previa lo más perfecta posible.
- Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

- Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

- Características del agua.

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

- Tipos de floculantes Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:
  - Minerales: por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
  - Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

La selección del polielectrolitos adecuado se hará mediante el ensayo de jarras.

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.

La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.

La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación formación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas.

Finalmente existe una decantación o flotación, esta última etapa tiene como finalidad el separar los agregados formados del seno del agua.

### **Marco normativo legal**

La fundamentación legal de esta investigación se encuentra enmarcada en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Capítulo IX de los Derechos ciudadano se compromete a seguir el lineamiento establecido por el Estado, ya que la constancia de esta protección, beneficiara tanto al medio ambiente como a las próximas generaciones.

La Ley de Aguas, en Gaceta Oficial número 38.595, de fecha 2 de enero de 2007, en sus artículos 13 y 14, indican que los generadores de efluentes líquidos deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas, de conformidad con las disposiciones establecidas de esta Ley y demás normativas que la desarrolle.

Artículo 14, Ley de Aguas (2007):

“... La advierte que la prevención y control de los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes se efectuará a través de:

- Los planes de gestión integral de las aguas, así como en los planes de ordenación del territorio y de ordenación urbanística, insertándose los elementos y análisis involucrados en la gestión integral de riesgos, como proceso social e institucional de carácter permanente, concebidos de manera consciente, concertados y planificados para reducir los riesgos socio naturales y cronológicos en la sociedad.
- La construcción, operación y mantenimiento de las obras e instalaciones necesarias.
- En líneas generales muestran las obligaciones de los generadores de efluentes y las medidas para prevención y control del agua y su uso.”

En el mismo orden de ideas, la Gaceta Oficial número 883, de fecha 11 de octubre de 1995, en sus artículos 10, 11 y 12, indican los límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses, al medio marino-costero y a redes cloacales.

Continuando con este patrón, la gaceta oficial numero 3.219, de fecha 13 días de enero de 1998, luego de que en su artículo 5 se realice una clasificación de las aguas en grupos y subgrupos según su uso, en

conformidad con el decreto 883, establece las características permisibles para cada grupo en el artículo 8. Posteriormente dedica la sección II y III de la gaceta para la clasificación de los constituyentes de los vertidos líquido y establecer los parámetros críticos de control y finalmente en el artículo 36, se fijan los rangos y límites máximos de concentraciones en los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, al Lago de Valencia y red hidrográfica tributaria.

Siguiendo este patrón se encuentra la Gaceta Oficial número 34.626 Ley Programa para el Saneamiento del Lago de Maracaibo de enero de 1991. Esta ley contempla la recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas en las zonas norte y sur de Maracaibo, Cabimas y Ciudad Ojeda. Este ambicioso plan de rescate ecológico será determinante en el desarrollo agrícola de la región y en los niveles de salubridad de los zulianos. Además, la Planta de Tratamiento de Ciudad Ojeda, es vital para la reconversión del agua a través de los procesos de desinfección.

Por otro lado Gaceta Oficial N° 36.344 del 28 de noviembre de 1998 "Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del río Yaracuy" establece la clasificación de las aguas del río Yaracuy y sus tributarios y las normas para el control de la calidad de los vertidos líquidos a ellos descargados.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **Tipo de investigación**

Este trabajo Especial de Grado corresponde a un estudio enmarcado en el siguiente tipo de diseño: Descriptiva, la cual es referida a lo siguiente:

Comprende la descripción, registro, análisis interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes, o sobre una persona, grupo o cosa, conduce o funciona en el presente. Su objetivo fundamental es interpretar realidades de hecho según Tamayo y Tamayo, El proceso de la investigación científica (2006).

Para poder realizar esta investigación se observó la composición del agua residual y los fenómenos que la afectan, para proceder con los métodos apropiados para sus tratamientos.

#### **Diseño de investigación**

En este trabajo de grado se aplica el siguiente diseño de investigación: **documental bibliográfica.**

**La investigación documental bibliográfica:** El énfasis de la investigación está en el análisis teórico y conceptual hasta el paso final de la elaboración de un informe o propuesta sobre el material registrado, ya se trate de obras, investigaciones anteriores, material inédito, hemerográfico, cartas, historias de vida, documentos legales e inclusive material filmado o grabado. Las fuentes de

conocimiento, de análisis e interpretación serán fundamentalmente “cosas” y no “personas”, (Martínez, 2010).

Para el desarrollo de este trabajo de grado apoyándose en el desarrollo de normas técnicas realizadas por otros países latinoamericanos, y en la bibliografía especializada.

**Modalidad de la investigación:** Se tiene la siguiente modalidad en este trabajo especial de grado.

### ***Proyecto especial***

Consiste en la elaboración de trabajos tangibles, susceptibles de ser utilizados como soluciones a problemas demostrados, o que respondan a necesidades e interés de tipo cultural; solución posible a un problema de tipo práctico, para satisfacer necesidades de una institución o grupo social; puede referirse a la formulación de políticas, técnicas, programas, normas y métodos; según Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (2000).

Con la definición previa queda bastante claro el porqué esta investigación tiene una modalidad de proyecto especial, ya que con las normas que se proponen se ayudará a la sociedad e instituciones a aplicar un diseño unificado en las plantas de tratamiento en la etapa físico-química.

### **Descripción de la Metodología**

En el procedimiento de investigación de este trabajo especial de grado, se enumeran una serie de etapas, que resultan prácticas para ser aplicadas según el

tipo de investigación definida, y además, de gran utilidad para el avance y desarrollo del trabajo.

### **Fase 1: Diagnóstico**

Para lograr un diagnóstico de las condiciones generales de las aguas residuales en Venezuela se realizaron entrevistas no estructuradas o abiertas a expertos en la materia, que con su amplia experiencia en los procesos físico-químicos usados en las plantas de tratamiento, nos indicaron si es necesario o no consignar una serie de normas técnicas que regulen estos procesos, específicamente los sistemas primario y preliminar.

### **Fase 2: Análisis de normas internacionales**

Se revisaron las normas de países latinoamericanos para comparar, valores máximos y mínimos, tipo de estudios realizados según la clasificación del agua residual establecidos en dichas normas y las características del diseño de cada una de las unidades empleadas, de igual forma se analizó la estructura de la misma, y otros puntos que se consideraron útiles para la investigación.

### **Fase 3: Análisis de los procesos usados habitualmente**

Del mismo modo se consultó la bibliografía especializada para adquirir conocimiento sobre los procesos físico-químicos habitualmente usados en la etapa preliminar y primaria, tomando en cuenta el tipo de agua residual a tratar.

### **Fase 4: Análisis del diseño de las unidades**

Luego de realizadas las entrevista, analizadas las normas internacionales y la bibliografía se pudo obtener una base de como se están realizando el diseño actualmente y como se puede sistematizar. Así como se pudo disgregar cuales son las unidades más importantes o comunes, en las cuales se hace énfasis en la propuesta.

### **Fase 5: Realización de la propuesta**

Luego de revisar todos los procesos físico-químicos que intervienen en la etapa preliminar y primaria apoyados en las entrevistas a expertos, en las gacetas existentes en el país y en la bibliografía especializada, se planteó una propuesta de norma técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial.

### **Población y Muestra**

**Población:** es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones, podemos decir que la población es la totalidad del fenómeno a estudiar, en donde las unidades de población posee una característica común la cual estudia y da origen a los datos. (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997)

**Muestra:** La muestra se define como un subgrupo de la población. Para delimitar las características de la población. (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997)

**Evaluación de la muestra,** Se realizaron entrevistas no estructuradas o abiertas que ayudaron a establecer los valores antes mencionados, también ayudaron a establecer un diagnóstico de las condiciones generales de las aguas residuales en Venezuela y su tratamiento, con alas de evaluar necesidad de estandarizar el diseño de las mismas, dichas entrevistas se realizaron a una serie de personas cuya cantidad fue definida a juicio y criterio del tutor especialista en el tema.

### **Muestreo no probabilístico**

En éste tipo de procedimientos, los miembros de la población no tienen una probabilidad conocida de pertenecer a la muestra. Estos métodos no permiten establecer las desviaciones sufridas en los resultados de la investigación, y por lo tanto, las estimaciones obtenidas no pueden proyectarse estadísticamente a la totalidad de la población.

Este muestreo fue utilizado para realizar un estudio intencional, para el cual no es necesario proyectar los resultados. Se conoce los resultados de un estudio con muestreo no probabilístico pueden ser totalmente válidos siempre que se utilicen adecuadamente y se asuman sus limitaciones.

En el caso objeto a estudio, la población está constituida por todo el ingenieros proyectista que diseñe plantas de tratamiento en la actualidad. Se recurrió a criterios del tutor, para evaluar solo a un grupo específico.

### **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas; la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades (entrevista o cuestionario), el análisis documental, análisis de contenido. Los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos de cuestionario, guías de entrevista, lista de cotejo, grabadores, escalas de actitudes u opinión (tipo likert). (Arias, 1999)

**Tabla 2.**

*Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnica	Instrumento
<p><b>Observación indirecta:</b> es cuando el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno observando a través de las observaciones realizadas anteriormente por otra persona. Tal ocurre cuando se valen de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, etc., relacionadas con lo que estamos investigando, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron antes lo mismo que nosotros.</p> <p>Para este trabajo de grado se tomaron los valores de las muestras establecidos por la bibliografía especializada, las referencias hechas por los expertos y apoyados en las gacetas existentes en el país para plantear así los valores mínimos y máximos necesarios para el proceso físico químico requeridos en una planta de tratamiento de aguas residuales.</p>	<p><b>Lista de Comprobación o Cotejo:</b></p> <p>Consiste en una lista de características, aspectos, cualidades, secuencia de acciones, etc. Sobre las que interesa determinar su presencia o ausencia. La lista de cotejo se presta para registrar aspectos que son del tipo dicotómico (sí –no, lo hizo – no lo hizo; presente-ausente, etc.)</p>

<p><b>La encuesta:</b></p> <p>Es un estudio observacional en el cual el investigador no modifica el entorno ni controla el proceso que está en observación (como sí lo hace en un experimento). Los datos se obtienen a partir de realizar un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa o al conjunto total de la población estadística en estudio, formada a menudo por personas, empresas o entes institucionales, con el fin de conocer estados de opinión, características o hechos específicos. El investigador debe seleccionar las preguntas más convenientes, de acuerdo con la naturaleza de la investigación sirve para obtener información específica de una muestra.</p>	<p><b>Entrevista NO Estructurada o Libre</b></p> <p>Se trabaja con preguntas abiertas, sin un orden preestablecido, adquiriendo características de conversación. Esta técnica consiste en realizar preguntas de acuerdo a las respuestas que vayan surgiendo durante la entrevista. Tiene el inconveniente de que puede pasar por alto áreas de aptitud, conocimiento o experiencia del solicitante, al obviar preguntas importantes del tema a tratar. La entrevista no estructurada puede plantear cuestiones previas que serán indagadas en la entrevista, o puede desarrollarse sin preparación, pretendiendo que el entrevistado exprese su situación. Entre sus principales características hay que destacar:</p> <p>Solo se tiene una idea de lo que se va a preguntar</p> <p>Las preguntas que se hacen dependen del tipo y características de las respuestas.</p> <p>Se aplicará una entrevista no estructurada a expertos en el tema con el fin de obtener los datos actuales con los que se han trabajado los últimos años ya que no se tiene ninguna referencia.</p>
--	--

*Nota:* Altuve y Ramirez (2011)

### **Análisis de datos**

Se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se tengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso. Se referente al análisis, se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis, síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que serán empleadas para descifrar lo que revelan los datos que sean recogidos. (Arias, 1999)

## **CAPÍTULO IV**

### **DIAGNÓSTICO**

#### **Situación actual**

En Venezuela para el 2011 según investigaciones realizadas por Torres Carmen (2011) las aguas tienen su composición química alterada, de tal manera que ya no reúnen las condiciones generales para algunos o para el conjunto de usos que está destinado en su estado natural. Las causas de esto son:

- La descarga de los desechos industriales y domésticos en ríos, lagos y mares.
- El uso de plaguicidas, fertilizantes, herbicidas y otros productos químicos en las actividades agropecuarias.
- Derrames de petróleo.
- El uso del agua como refrigerante de turbinas termoeléctricas, pues los cambios de temperatura impiden el desarrollo de la fauna y flora acuáticas.

Los estudios que realizan los organismos encargados del mantenimiento del saneamiento ambiental han determinado que las regiones y zonas en las cuales incide más la contaminación del agua son las siguientes:

- Los ríos Guaire y Tuy.
- El lago de Valencia y los ríos tributarios.
- Los valles de los ríos Tocuyo y Aroa.

- Los ríos Unare, Neveri, Manzanares, Guarapiche, y sus afluentes.
- El lago de Maracaibo.
- Las aguas costeras de sur-este del golfo de Venezuela; como producto de derrames de petróleo, caída de desechos industriales y petroquímicos.

En este problema ambiental es importante el aumento constante de aguas servidas de procedencia doméstica e industrial, en las que hay exceso de restos orgánicos, cantidades de detergentes y otros residuales que transforman el equilibrio de las aguas, generando en ella contaminación que se agrava con la presencia de microorganismos. Todas estas circunstancias causan grave daño. Se debe tomar en cuenta que las variadas especies de animales y vegetales que se desarrollan en los hábitat cumplen diariamente la función de oxidación de las aguas y de limpiarlas de organismos nocivos y extraños a ese hábitat. Lo que no se logrará, si por desechos tóxicos, la fauna y la flora desaparecen.

El uso de las aguas para variadas actividades y servicios, genera en ellas contaminación y las convierte en aguas negras, cargadas de numerosos y muy variados agentes contaminantes.

Los organismos oficiales han desarrollado programas de obligatorio cumplimiento por parte de las industrias y empresas, para rescatar la pureza de las aguas, erradicando de ellas las causas de su contaminación para implementar el saneamiento ambiental.

Numerosos métodos se están utilizando aplicando en torno a estos objetivos; los que están dando mejor resultado son las lagunas de oxidación (la purificación de aguas negras) y las plantas de tratamiento.

En el país el sistema de recuperaciones de las aguas servidas, se ha ido reformando, tal como lo muestra la revisión del decreto 883, que establece los límites máximos permisibles, es decir la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan un efluente, que al ser excedido por alguna causa puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente.

Para ellos la gaceta clasifica las aguas según el sitio de descarga:

De las descargas a cuerpos de aguas, los límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros Físico-Químicos Límites máximos o rangos

- Aceites minerales e hidrocarburos 20 mg/l
- Aceites y grasas vegetales y animales. 20 mg/l
- Alkil Mercurio No detectable (\*)
- Aldehidos 2,0 mg /l
- Aluminio total 5,0 mg/l
- Arsénico total 0,5 mg/l
- Bario total 5,0 mg/l
- Boro 5,0 mg/l
- Cadmio total 0,2 mg/l
- Cianuro total 0,2 mg/l
- Cloruros 1000 mg/l
- Cobalto total 0,5 mg/l
- Cobre total 1,0 mg/l
- Color real 500 Unidades de Pt-Co
- Cromo Total 2,0 mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 60 mg/l
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) 350 mg/l
- Detergentes Dispersantes 2,0 mg/l
- Espuma Ausente
- Estaño 5,0 mg/l
- Fenoles 0,5 mg/l

- Fluoruros 5,0 mg/l
- Fósforo total (expresado como fósforo) 10 mg/l
- Hierro total 10 mg/l
- Manganeso total 2,0 mg/l
- Mercurio total 0,01 mg/l
- Nitrógeno total (expresado como nitrógeno) 40 mg/l
- Nitritos + Nitratos (expresado como nitrógeno) 10 mg/l
- pH 6 – 9
- Plata total 0,1 mg/l
- Plomo total 0,5 mg/l
- Selenio 0,05 mg/l
- Sólidos flotantes Ausentes
- Sólidos suspendidos 80 mg/l
- Sólidos sedimentables 1,0 ml/l
- Sulfatos 1000 mg/l
- Sulfitos 2,0 mg/l
- Sulfuros 0,5 mg/l
- Zinc 5,0 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

De las descargas al medio marino-costero, sólo podrán efectuarse en zonas donde se produzca mezcla rápida del vertido con el cuerpo receptor y cumplirán con los rangos y límites máximos establecidos en la siguiente lista:

- Aceites minerales e hidrocarburos 20 mg/l
- Aceites y grasas vegetales y animales 20 mg/l
- Alkil Mercurio No detectable (\*)
- Aluminio total 5,0 mg/l
- Arsénico total 0,5 mg/l
- Bario total 5,0 mg/l
- Cadmio total 0,2 mg/l
- Cianuro total 0,2 mg/l
- Cobalto total 0,5 mg/l
- Cobre total 1,0 mg/l
- Color 500 Unidades de Pt/Co
- Cromo total 2,0 mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 60 mg/l
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) 350 mg/l
- Detergentes 2,0 mg/l

- Dispersantes 2.0 mg/l
- Espuma Ausente
- Fenoles 0,5 mg/l
- Fluoruros 5,0 mg/l
- Fósforo total (expresado como fósforo) 10 mg/l
- Mercurio total 0,01 mg/l
- Níquel total 2,0 mg/l
- Nitrógeno total (expresado como nitrógeno) 40 mg/l
- pH 6 - 9
- Plata total 0,1 mg/l
- Plomo total 0,5 mg/l
- Selenio 0,2 mg/l
- Sólidos flotantes Ausentes
- Sulfuros 2,0 mg/l
- Zinc 10 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

De la descarga a redes cloacales, los parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales no deberán ser mayores de los rangos y límites permisibles establecidos en la siguiente lista:

- Aceites minerales e hidrocarburos 20 mg/l
- Aceites y grasas vegetales y animales 150 mg/l
- Alkil Mercurio No detectable (\*)
- Aluminio total 5,0 mg/l
- Arsénico total 0,5 mg/l
- Bario total 5,0 mg/l
- Cadmio total 0,2 mg/l
- Cianuro total 0,2 mg/l
- Cobalto total 0,5 mg/l
- Cobre total 1,0 mg/l
- Cromo total 2,0 mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 350 mg/l
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) 900 mg/l
- Detergentes 8,0 mg/l
- Dispersantes 8.0 mg/l
- Fenoles 0,5 mg/l
- Fósforo total (expresado como fósforo) 10 mg/l
- Hierro total 25 mg/l
- Manganeso total 10 mg/l
- Mercurio total 0,01 mg/l

- Níquel total 2,0 mg/l
- Nitrógeno total (expresado como nitrógeno) 40 mg/l
- pH 6 - 9
- Plata total 0,1 mg/l
- Plomo total 0,5 mg/l
- Selenio 0,2 mg/l
- Sólidos flotantes Ausentes
- Sólidos suspendidos 400 mg/l
- Sólidos totales 1600 mg/l
- Sulfatos 400 mg/l
- Sulfuros 2,0 mg/l
- Temperatura 40°C
- Vanadio 5,0 mg/l
- Zinc 10 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los recursos Naturales Renovables.

Por otro lado se tiene los valores que establece la gaceta oficial 3219 que se muestra a continuación:

- Aceites minerales e hidrocarburos: 20 mg/l
- Aceites y grasas vegetales y animales: 30 mg/l
- Alkil Mercurio: No detectable (\*)
- Aldehídos: 2,0 mg/l
- Aluminio total: 1,0 mg/l
- Arsénico total: 0,1 mg/l
- Bario total: 5,0 mg/l
- Boro: 5,0 mg/l
- Cadmio total: 0,1 mg/l
- Cianuro total: 0,1 mg/l
- Cloruros: 1000 mg/l
- Colbato total: 0,05 mg/l
- Cobre total: 0,5 mg/l
- Cromo total: 2,0 mg/l
- Cromo hexavalente: 0,1 mg/l
- Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO): 60 mg/l
- Demanda química de oxígeno (DQO): 350 mg/l
- Detergentes: 2,0 mg/l
- Dispersantes: 2,0 mg/l
- Espuma: Ausente
- Estaño: 5,0 mg/l
- Fenoles: 0,05 mg/l
- Fluoruros: 5,0 mg/l

- Fosforo total (expresado como fosforo); 1,0 mg/l
- Hierro total: 10 mg/l
- Manganeso total: 2,0 mg/l
- Mercurio total: 0,01 mg/l
- Níquel total: 1,0 mg/l
- Nitrógeno total (expresado como nitrógeno): 10 mg/l
- pH: 6-9
- Plata total: 0,1 mg/l
- Plomo total: 0,5 mg/l
- Selenio: 0,05 mg/l
- Sólidos flotantes: Ausentes
- Sólidos sedimentables: 1,0 mg/l
- Sólidos suspendidos: 80 mg/l
- Sulfitos: 2,0 mg/l
- Sulfato: 600 mg/l
- Sulfuros: 0,5 mg/l
- Zinc: 5,0 mg/l
- Órgano fosforados y Carbamatos: 0,25 mg/l
- Órgano clorados: 0,05 mg/l

\* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

También existen los límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales, siguientes:

- Aceites minerales e hidrocarburos: 20 mg/l
- Aceites y grasas vegetales y animales: 100 mg/l
- Alkil Mercurio: No detectable (\*)
- Aluminio total: 5,0 mg/l
- Arsénico total: 0,5 mg/l
- Bario total: 5,0 mg/l
- Cadmio total: 0,2 mg/l
- Cianuro total: 0,2 mg/l
- Colbato total: 0,5 mg/l
- Cobre total: 0,5 mg/l
- Cloruros: 300 mg/l
- Cromo total: 2,0 mg/l
- Cromo hexavalente: 0,4 mg/l
- Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO): 350 mg/l
- Demanda química de oxígeno (DQO): 700 mg/l

- Detergentes y/o Dispersantes: 8,0 mg/l
  - Fenoles: 0,5 mg/l
  - Fosforo total (expresado como fosforo): 10,0 mg/l
  - Hierro total: 25 mg/l
  - Manganeso total: 10 mg/l
  - Mercurio total: 0,01 mg/l
  - Níquel total: 1,0 mg/l
  - Nitrógeno total (expresado como nitrógeno): 40 mg/l
  - pH: 6-9
  - Plata total: 0,1 mg/l
  - Plomo total: 0,5 mg/l
  - Selenio: 0,2 mg/l
  - Sólidos flotantes: Ausentes
  - Sólidos sedimentables: 100 mg/l
  - Sólidos suspendidos: 400 mg/l
  - Sulfato: 400 mg/l
  - Sulfuros: 1,0 mg/l
  - Temperatura: Variación respecto a la temperatura de la cloaca receptora, en sitio de la descarga -5C°
  - Vanadio: 5,0 mg/l
  - Zinc: 5,0 mg/l
- \* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

### **Análisis de las entrevistas**

Luego de efectuada las entrevistas a distintos personajes de ámbito ambiental se conoce:

Algunas de las plantas de tratamientos que actualmente están en funcionamiento no cuentan con el soporte técnico, ni con los mecanismos necesarios para garantizar el óptimo proceso y por ende no satisfacen los requerimientos exigidos para la descarga a los cuerpos de agua, adicional a esto no se están realizando como es debida la toma de muestra y como consecuencia no se están cumpliendo con los valores permisibles en cuanto

a pH, DBO, DQO, cloro, de igual forma no se cumple con las obligación en cuanto a los reportes e informes que exige la ley.

Si bien es cierto que ciertas empresas como Polar C.A y Laboratorios Reveex tienen un sistema en funcionamiento que satisface y garantiza el proceso en general, no sucede lo mismo en todas las plantas, al punto tal de algunas empresas tienen plantas de tratamiento que no ponen en marcha.

Con respecto al diseño los factores que inciden en la elección de las unidades son el espacio a utilizar, la experiencia del calculista o las facilidades que tenga para conseguir equipos u otros. Es decir que para diseñar no se cuenta con parámetros estándares que aseguren la calidad de proceso o la unificación de las distintas plantas a nivel nacional.

De igual forma un problema grave que se encuentra en las plantas operativas, es que quienes realizan las labores de mantenimiento y supervisión de las mismas no son profesionales en el área, o no han recibido la inducción correcta para operar, con ello se puede concluir que a la hora de una falla estos operadores no sabrán cómo proceder.

Por todo esto se sabe que si es necesaria una norma que tenga como objetivo garantizar el diseño de las plantas de tratamiento, tomando en cuenta los distintos procesos y la tecnología actual, y que sea específica respecto a los porcentajes de DBO removido en cada unidad. Además que se pregunto por las plantas en países donde su diseño esta normalizado y se destaco el buen funcionamiento de ellas.

## **Memoria fotográfica**

Primeramente se muestran imágenes que muestran la situación actual de Lago de Valencia, señalándose esta como una de las principales cuencas con problemas de contaminación, de igual forma se muestra el río Guaire el cual tienen un plan de saneamiento a través de la planta de tratamiento “El Chorrillo”, si bien es cierto que esta planta no comprende propiamente una planta de tratamiento de agua residual de origen industrial es una planta considerablemente grande donde se llegan aguas de distintas industrias que de manera ilegal descargan directamente sobre el río.

Seguidamente se encuentra fotos de distintas plantas donde se muestran los sistemas a utilizar y finalmente una de las plantas más importante de la zona como es la planta de tratamiento de aguas residuales “La Mariposa” la cual tiene operativa una primera fase y se está construyendo la planta “La Mariposa II”, con el fin de aumentar en caudal de entrada motivado a requerimientos de aumento de la población en el Estado Carabobo.

La planta la Mariposa se destaca a nivel nacional debido a que forma parte del proyecto Integral de Saneamiento y Control de Nivel de la Cuenca del Lago de Valencia en un intento de contribuir con el saneamiento de la Cuenca del Lago.



**Figura 5. Vista aérea del Lago de Valencia.**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



**Figura 6. Lemna en el Lago de Valencia.**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 7. Vista del rio Guaire.*

*Nota. Altuve y Ramírez (2011)*



*Figura 8. Río Guaire en periodo de lluvia.*

*Nota. Minuto a minuto (2010)*



*Figura 9.* **Sistema de desbaste planta “El Chorrito” edo. Miranda**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 10.* **Desarenador tipo ciclón Planta “El Chorrito”**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



**Figura 11. Desarenador Ciclón Planta “El Chorrito”**  
*Nota. Altuve y Ramírez (2011)*



**Figura 12. Sedimentador Planta “El Chorrito”.**  
*Nota. Altuve y Ramírez (2011)*



*Figura 13.* **Descarga final de la planta “El Chorrito”.**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 14.* **Realización de pruebas en la planta “El Chorrito”.**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 15.* **Prueba de sólidos sedimentables en “El Chorrito”.**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 16.* **Muestra al final de tratamiento “El Chorrito”.**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 17.* **Salida de lodos del tanque sedimentador, “Los Chorritos”.** *Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 18.* **Filtro prensa “Los Chorritos”**  
*Nota.* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 19.* **Salida del filtro prensa “Los Chorritos”.**  
*Nota:* Altuve y Ramírez (2011)



*Figura 20.* **Sistema de rejas Planta “Los Guayos”**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 21.* **Tanque de mezcla.**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 22.* **Lechos de secado de lodos.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 23.* **Tubería ranurada para drenaje de lechos de secado.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 24.* **Construcción del tanque de igualación**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 25.* **Lechos de secado.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 26.* **Juntas de PVC de un bulbo en junta de construcción.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 27.* **Reactor biológico Población de Borburata.**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 28.* **Aireadores superficiales en tanque de igualación.**  
*Avícola "La Gauasima". Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 29.* **Separación de sólidos, Avícola “La Guasima”.**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 30.* **Vertedero de rebose.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 31.* **Aireadores superficiales en tanque de igualación.**  
**Avícola “La Guasima”.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 32.* **Canaleta tipo Parshall, Avícola “La Guasima”**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 33.* **Reactor biológico Avícola “La Guasima”**  
*Nota. Pottellá Tulio (2011)*



*Figura 34.* **Sedimentador secundario. Avícola “La Guasima”**  
*Nota. Pottellá Tulio (2011)*



*Figura 35.* **Sistema de cloración avícola “La Guasima”.**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 36.* **Canaleta Parshall. Avícola “La Guasima”**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 37.* **Biodiscos. Avícola “La Guasima”**  
*Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 38.* **Sedimentador secundario, avícola “La Guasima”.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 39.* **Aireadores superficiales, Avícola “La Guasima”.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 40.* **Sistema de rejas. Planta “Los Guayos”**  
*Nota. Pottellá Tulio (2011)*



*Figura 41.* **Tanque de igualación aforador Parshall, “Planta Coca-Cola en Panamá”.** *Nota. Pottellá Tulio (2011)*



**Figura 42. Tanque de cloración. Planta “Coca-cola” en Barcelona** Nota. Pottellá Tulio (2011)



**Figura 43. Pruebas de laboratorio, cono de Imhoff.** Nota. Pottellá Tulio (2011)



**Figura 44. Tanque sedimentador. Planta Coca-cola en Panamá**  
*Nota. Pottellá Tulio (2011)*



**Figura 45. Tanque de cloración. Planta “Coca-cola” en Panamá.** *Nota. Pottellá Tulio (2011)*

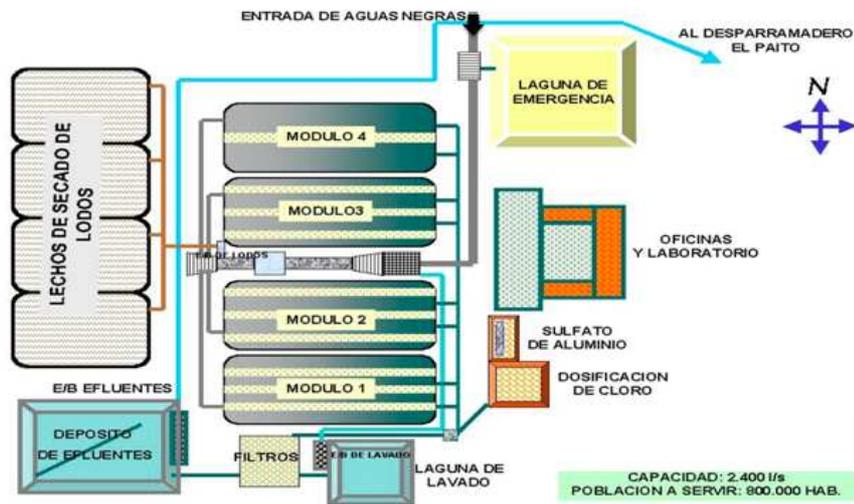


Figura 46. Diagrama de la PTAR “La Mariposa”.  
Nota. Fabio Padoan (2010)



Figura 47. Caudal de entrada en la planta “La Mariposa”.  
Nota. Fabio Padoan (2010)



*Figura 48.* **Lodos Primarios “La Mariposa”**  
*Nota.* Fabio Padoan(2010)



*Figura 49.* **“Escalator” PTAR “La Mariposa”**  
*Nota.* Fabio Padoan (2010)



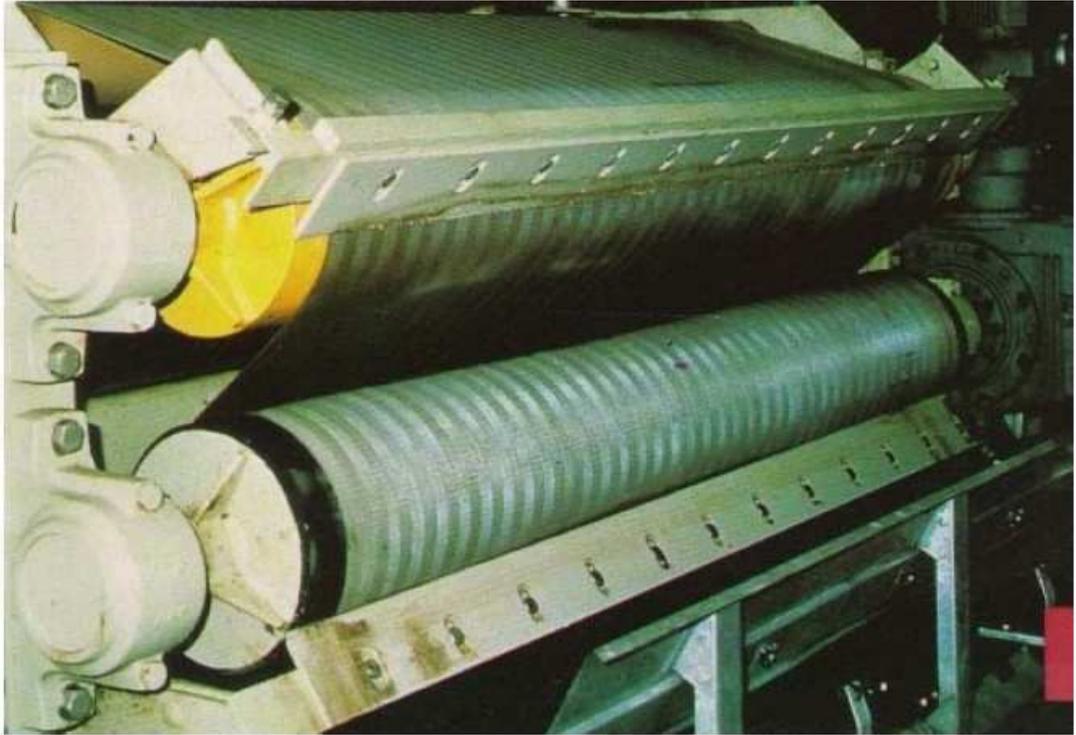
*Figura 50.* **Acumulación de sedimentos PTAR “La Mariposa”** *Nota.* Fabio Padoan (2010)



*Figura 51.* **Reuso del agua tratada.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



*Figura 52.* **Vista de un reuso del agua tratada.** *Nota.* Pottellá Tulio (2011)



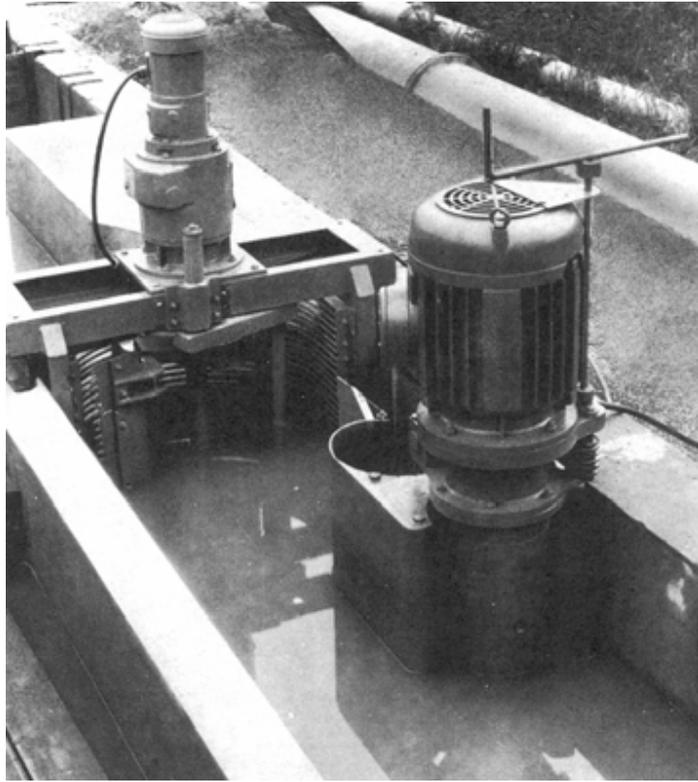
*Figura 53.* **Filtro banda (prensa)** *Nota.* Universidad de Santiago de Compostela (2011)



*Figura 54.* **Lecho de secado.** *Nota.* Tulio Pottellá (2011)



*Figura 55.* **Sistema de bombeo.** *Nota.* Tulio Pottellá (2011)

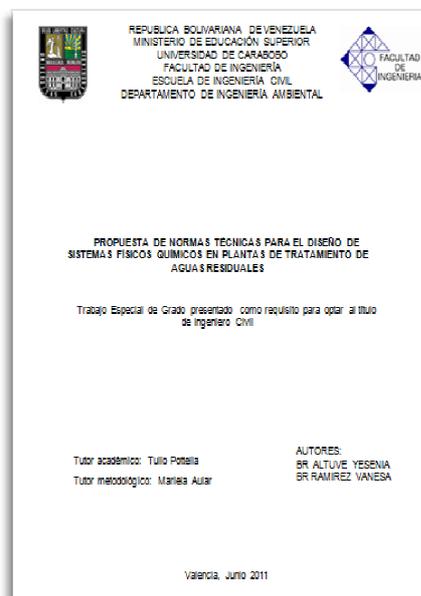


*Figura 56.* **Dilacerador** Nota. (Rojas, 1995)

## CAPITULO V

### LA PROPUESTA

A continuación se presenta la primera Propuesta de Normas Técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales en Venezuela para garantizar la elaboración de proyectos de diseño de sistemas de plantas de tratamiento y optimizar las condiciones de uso para garantizar un mejor desempeño y rendimiento de las unidades, basada en los lineamientos de normalizaciones técnicas, documentos e investigaciones nacionales e internacionales que establecen los criterios de diseño, evaluación y control de las unidades que componen los sistemas físicos químicos y afectan la calidad de ellos y por ende la calidad de vida del ser humano.



## **TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES**

**Artículo 1:** Esta norma tiene por objeto dar una guía en el diseño de proyectos sistemas de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminares, y primario.

**Artículo 2:** El diseño de sistemas físico-químicos de plantas de tratamiento de aguas residuales queda sometido a control y vigilancia, en cuanto se refiere al cumplimiento de las disposiciones contenidas en esta norma.

**Artículo 3:** Quedan sujetos al cumplimiento de las presentes normas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, propietarios o responsables del tratamiento de las aguas residuales de origen industrial, incluyendo la producción, conducción, almacenamiento y entrega de esta en los respectivos cuerpos de agua.

**Artículo 4:** A los fines de la aplicación de las presentes Normas se establecen las siguientes definiciones:

**Adsorción:** Fenómeno físico-químico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

**Absorción:** Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

**Acidez:** La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidroxilo hasta un pH de neutralización.

**Acuífero:** Formación geológica de material poroso capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua.

**Aeración:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

**Aeración mecánica:** Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.

**Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

**Agua residual:** Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.

**Agua residual tratada:** agua procesada en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.

**Análisis:** El examen de una sustancia para identificar sus componentes.

**Bases de diseño:** Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes.

**Biodegradación:** Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

**By-pass:** Conjunto de elementos utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia, de mantenimiento o de operación.

**Carga del diseño:** Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

**Carga superficial:** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

**Caudal pico:** Caudal máximo en un intervalo dado.

**Caudal máximo horario:** Caudal a la hora de máxima descarga.

**Caudal medio:** Promedio de los caudales diarios en un período determinado.

**Certificación:** Programa de la entidad de control para acreditar la capacidad del personal de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento.

**Clarificación:** Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

**Cloración:** Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química y control de olores.

**Coagulación:** Aglomeración de partículas coloidales (<0,001 mm) y dispersas (0,001 a 0,01mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

**Coagulante:** Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

**Compensación:** Proceso por el cual se almacena agua residual y se amortigua las variaciones extremas de descarga, homogenizándose su calidad y evitándose caudales pico.

**Criterios de diseño:** Guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específica (generalmente 5 días 20°C).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

**Depuración de las aguas residuales:** Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

**Derrame accidental:** Descarga directa o indirecta no planificada de un líquido que contiene sustancias indeseables que causan notorios efectos adversos en la calidad del cuerpo receptor. Esta descarga puede ser resultado de un accidente, efecto natural u operación inapropiada.

**Desarenadores:** Cámara diseñada para reducir las velocidades del agua residual y permite la remoción de sólidos minerales (arenas y otros), por sedimentación.

**Descarga controlada:** Regulación de la descarga del agua residual cruda para eliminar las variaciones extremas de caudal y calidad.

**Desecho ácido:** Descarga que contiene una apreciable cantidad de acidez entíendase pH bajo.

**Desecho peligroso:** Desecho que tiene una o más de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o infeccioso.

**Desecho industrial:** Desecho originado en la manufactura de un producto específico.

**Deshidratación de lodos:** Proceso de remoción del agua contenida en los lodos.

**Desinfección:** La destrucción de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante.

**Dilaceradores:** Los dilaceradores son trituradores, que se descartan como opción por el gran consumo de energía eléctrica que realiza. Por esta razón no es común la utilización, ya que no aporta grandes ventajas.

**Disposición final:** Disposición del efluente o del lodo tratado de una planta de tratamiento.

**Difusor:** Placa porosa, tubo, artefacto o material, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

**Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales y porcentaje.

**Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**Efluente final:** Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

**Electrocoagulación:** Consiste en la formación de los reactivos *in situ* mediante la utilización de una célula electrolítica. El ánodo suele ser de aluminio, formándose cationes de  $Al^{3+}$ , mientras en el cátodo se genera  $H_2$ , siendo útil si la separación posterior de la materia es por flotación.

**Emisario submarino:** Tubería y accesorios complementarios que permiten la disposición de las aguas residuales pretratadas en el mar.

**Emisor:** Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta un punto de disposición final.

**Estructura de llegada:** Dispositivos de la planta de tratamiento inmediatamente después del emisor y antes de los procesos de tratamiento

**Factor de carga:** Parámetro operacional y de diseño del proceso de lodos activados que resulta de dividir la masa del sustrato (kg DBO/d) que alimenta a

un tanque de aeración, entre la masa de microorganismos en el sistema, representada por la masa de sólidos volátiles.

**Fuente no puntual:** Fuente de contaminación dispersa.

**Fuente puntual:** Cualquier fuente definida que descarga o puede descargar contaminantes.

**Grado de tratamiento:** Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor.

**Igualación:** Ver compensación.

**Impacto ambiental:** Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

**Interceptor:** Canal o tubería que recibe el caudal de aguas residuales de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento.

**Intercambio iónico:** Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

**Irrigación superficial:** Aplicación de aguas residuales en el terreno de tal modo que fluyan desde uno o varios puntos hasta el final de un lote.

**IVL (Índice Volumétrico de lodo):** Volumen en mililitros ocupado por un gramo de sólidos, en peso seco, de la mezcla lodo/agua tras una sedimentación de 30 minutos en un cilindro graduado de 1000 ml.

**Lecho de secado:** Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

**Manejo de aguas residuales:** Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

**Medio filtrante:** Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento.

**Metales pesados:** Elementos metálicos de alta densidad (por ejemplo, mercurio, cromo, cadmio, plomo) generalmente tóxicos, en bajas concentraciones al hombre, plantas y animales.

**Muestra compuesta:** Combinación de alícuotas de muestras individuales, cuyo volumen parcial se determinara en proporción al caudal de agua residual al momento del muestreo.

**Muestra puntual:** Muestra tomada al azar a una hora determinada, su uso es obligatorio para el examen de un parásito que normalmente no persevera.

**Muestreador automático:** Equipo que toma muestras individuales, a intervalos predeterminados.

**Muestreo:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente con el parásito a analizar.

**Obras de llegada:** Dispositivos de la planta de tratamiento inmediatamente después del emisor y antes de los procesos de tratamiento.

**Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno solubilidad en un líquido.

**pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógenos, expresados en moles por litro.

**Planta de tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales.

**Polielectrolitos:** Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor.

**Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

**Pretratamiento:** Proceso que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

**Precipitación:** Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión.

**Procesos electroquímicos:** Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo.

**Reja gruesa:** Artefacto generalmente de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm) para remover sólidos flotantes de gran tamaño.

**Reja media:** Estructura de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4cm) para remover sólidos flotantes y en suspensión; generalmente se emplea en el tratamiento preliminar.

**Reuso de aguas residuales:** Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.

**Sales de  $Fe^{3+}$ :** Pueden ser  $Cl_3Fe$  o  $Fe_2(SO_4)_3$ , con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

**Sales de  $Al^{3+}$ :** Suele ser  $Al_2(SO_4)_3$  o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.

**Sedimentación final:** Ver sedimentación secundaria.

**Sedimentación primaria:** Remoción de material sedimentable presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

**Sedimentación secundaria:** Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

**Sistema de tratamiento:** conjunto de procesos físicos-químicos o biológicos, cuya finalidad es mejorar la calidad del agua residual a la que se le aplique.

**Tóxicos:** Elementos o compuestos químicos capaces de ocasionar daño por contacto o acción sistémica a plantas, animales y al hombre.

**Tratamiento avanzado:** Proceso de tratamiento usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

- Remoción de sólidos en suspensión (clarificación química, filtración, etc.);
- Remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc.);
- Remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, precipitación química, etc.);
- Remoción de nutrientes (nitrificación-denitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc.).

**Tratamiento conjunto:** Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en la misma planta.

**Tratamiento de lodos:** Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

**Tratamiento preliminar:** Ver pretratamiento.

**Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.

**Tratamiento químico:** Aplicación de compuestos químicos de las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc.

**Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión

## **TÍTULO II DEBERES Y RESPONSABILIDADES**

**Artículo 5:** Los deberes y responsabilidades del organismo competente:

- Promover y apoyar la vigilancia sanitaria de los de los diseños de tratamiento de las aguas residuales.
- Definir las directrices para el establecimiento de sistemas de vigilancia y control de calidad de las aguas descargadas.
- Ejecutar acciones de vigilancia de la calidad de agua residual tratada en coordinación con las autoridades competentes.
- Consolidar la información suministrada por la autoridad sanitaria estatal competente sobre las actividades realizadas para la vigilancia sanitaria de la calidad de las aguas tratadas, con el fin de mantener el control de los factores de riesgo que puedan producir impacto para la salud.

- Coordinar la revisión, actualización y elaboración de normativas técnicas en la materia relacionada con la calidad de agua tratada.

**Artículo 6:** De los deberes y responsabilidades a nivel estatal:

- Vigilar el cumplimiento de las regulaciones sanitarias vigentes sobre las aguas residuales tratadas.
- Otorgar la conformidad sanitaria de los proyectos de aguas residuales tratadas.
- Otorgar permiso de operaciones de sistemas de tratamiento.
- Para otorgar la conformidad de uso señalados en el literal anterior, las muestras deben ser captadas en presencia de la autoridad sanitaria estatal competente y analizada por un laboratorio registrado en el Ministerio del Ambiente.
- Reportar a la Autoridad Sanitaria en el nivel nacional los resultados de la vigilancia y control del agua tratada para alimentar el sistema de vigilancia epidemiológico sanitario ambiental.

**Artículo 7:** Los deberes y responsabilidades de los usuarios:

- Realizar las caracterizaciones con las frecuencias establecidas en las presentes normas.
- Llevar un libro de registro y control sobre las caracterizaciones realizadas (diarias y periódicas).
- Suministrar a las autoridades competentes estatales la información de la calidad de agua de tratamiento.
- Permitir el acceso a las instalaciones a las autoridades competentes debidamente identificadas con el fin de cumplir la vigilancia y el control de la calidad del agua.

**Artículo 8:** Comunicar inmediatamente a la autoridad sanitaria estatal la detección de cualquier anomalía operacional del sistema o la no conformidad de la calidad de agua tratada identificada como riesgo para la salud.

### TÍTULO III

## ORIENTACIÓN BÁSICA PARA EL DISEÑO

**Artículo 9:** El requisito fundamental antes de proceder al diseño preliminar o definitivo de un sistema de tratamiento de aguas residuales, es haber realizado el estudio del cuerpo receptor. El estudio del cuerpo receptor deberá tener en cuenta las condiciones más desfavorables. El grado de tratamiento se determinará de acuerdo con las normas de calidad del cuerpo receptor.

En caso de aprovechamiento de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el grado de tratamiento se determinará de conformidad con los requisitos de calidad para cada tipo de aprovechamiento de acuerdo a la norma.

Una vez determinado el grado de tratamiento requerido, el diseño debe efectuarse de acuerdo con las siguientes etapas:

1. Estudio de factibilidad, el mismo tiene que tener los siguientes componentes:
  - Caracterización de las aguas residuales de origen industrial.
  - Determinación de los caudales actuales y futuros.
  - Aportes per cápitas actuales y futuros.
  - Selección de los procesos de tratamiento.
  - Predimensionamiento de alternativas de tratamiento.
  - Factibilidad de técnico-económico de las alternativas y selección de las más favorables.
2. El diseño definitivo de una planta comprende:
  - Estudios adicionales de caracterización que sean requeridos.

- Estudios de tratabilidad de las aguas residuales, con el uso de plantas a escala de laboratorio o piloto, cuando lo amerite el caso.
  - Dimensionamiento de los procesos de tratamiento de la planta.
  - Diseño hidráulico sanitario.
  - Diseño estructural, mecánico, eléctrico y arquitectónico.
  - Planos y memoria técnica del proyecto.
  - Manual de operación y mantenimiento.
3. Según el tamaño e importancia de la instalación que se va a diseñar se podrán combinar las etapas de diseño mencionadas, previa la autorización de la entidad sanitaria.
  4. Toda planta de tratamiento deberá contar con una cerca perimetral y medidas de seguridad.
  5. De acuerdo con el tamaño e importancia del sistema de tratamiento, deberá considerarse infraestructura complementaria: casetas de vigilancia, almacén, laboratorio, vivienda del operador y otras instalaciones que señale el organismo competente.

**Artículo 10:** Para la caracterización de las aguas residuales se realizara para cada descarga importante, 3 días de medición de caudal y muestreo horario de 24 horas de duración y se determinará el caudal y la temperatura en el campo. Deben efectuarse días diferentes de semana. A partir del muestreo horario se conformarán muestras compuestas; todas las muestras deberán ser preservadas de acuerdo a métodos estándares para análisis de aguas residuales. En muestras compuestas se determinara como mínimo los siguientes parámetros:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días y 20 °C
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Sólidos sedimentables.

**Artículo 11:** Se efectuará análisis estadísticos de los datos generados y si no son representativos, se procederá a ampliar los muestreos para programas de caracterización.

**Artículo 12:** Con la información recolectada se determinarán las bases de diseño. Las bases del diseño consiste en la determinación de las condiciones actuales, futuras (final del periodo de diseño), e intermedias (cada 5 años) los valores de los siguientes parámetros:

- Actividad y producción total.
- Caudales medios e infiltración del sistema.
- Caudales máximos y mínimos horarios.
- Concentraciones de contaminantes como: DBO, DQO, sólidos en suspensión y coliformes en el agua residual.

**Artículo 13:** El caudal medio de diseño se determinará tomando en cuenta la sumatoria del caudal medio del efluente industrial mas el caudal medio de infiltración. Los caudales en exceso provocados por el drenaje pluvial deberán ser desviados antes del ingreso a la planta de tratamiento mediante estructuras de aliviaderos.

**Artículo 14:** En ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios indiquen que no es necesario el tratamiento. En este caso el tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga deberá ser el tratamiento primario.

**Artículo 15:** Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a la selección de los procesos de tratamiento para las aguas residuales. Se seleccionarán los procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad, reduciendo al mínimo la mecanización y automatización de las unidades y evitando al máximo la importación de partes y equipos.

**Artículo 16:** Para la selección del proceso de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía las siguientes tablas

**Tabla 3**

Valores de remoción

PROCESO DE TRATAMIENTO	REMOCIÓN (%)		REMOCIÓN	
			ciclos log10	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aireadas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

(a) precedidos y seguidos de sedimentación

(b) incluye laguna secundaria

(c) dependiente del tipo de lagunas

(d) seguidas de sedimentación

(e) dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

*Nota.* Altuve y Ramirez (2011)

**Tabla 4.**

Operaciones y procesos unitarios para el tratamiento físico-químico

<b>Operaciones y procesos unitarios utilizados en el tratamiento físico-químicos</b>	
Rejas y tamices	Eliminación por intercepción de sólidos de gran tamaño
Dilaceradores y trituradores	Trituración de los sólidos del agua residual
Desarenadores	Eliminación de arenas
Separadores y colectores de grasa	Eliminación de sólidos flotantes más ligeros, tales como grasas, jabón, corcho, madera, residuos vegetales, entre otros
Pre aireación	Mejora de la distribución hidráulica, aportación de oxígeno disuelto
Floculación	Mejora de la sedimentación de los sólidos suspendidos
Sedimentación	Eliminación de los sólidos sedimentables y material flotante
Flotación	Eliminación de grasas y sólidos suspendidos finamente divididos
Precipitación química	Eliminación de fósforo y de los sólidos coloidales y sedimentables. Primera fase del tratamiento químico completo del agua residual
Bombeo del lodo	Eliminación del sólido del fondo de los tanques de sedimentación.
Cloración	Control de olor, oxidación, desinfección, etc.

Nota. Altuve y Ramirez (2011)

**Artículo 17:** El proceso de tratamiento a que debe someterse una agua residual no dependerá solo de sus características y en ello también influye la eficiencia de remoción de las unidades, se presenta una tabla con la eficiencia de algunas unidades:

**Tabla 5.**

Eficiencia de las diversas unidades de proceso de tratamiento (en porcentaje)

Unidad de proceso	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Coliformes
Rejillas finas	5-10	5-20	10-20	-
Cloración del agua residual bruta o sedimentada	15-30	-	90-95	-
Sedimentación simple	25-45	40-70	25-75	40-60
Precipitación química	45-85	65-90	40-80	60-90
Filtración biológica	75-90	70-90	90-95	80-90
Lodos activados	80-97	80-97	90-98	90
Filtros intermitentes de arena	75-90	85-95	95-98	85-95
Cloración de aguas residuales tratadas biológicamente	80-97	-	98-99	-

*Nota.* NTM (2006)

**Artículo 18:** Una vez seleccionado los procesos de tratamiento para las aguas residuales, se procederá al dimensionamiento de alternativas. En esta etapa se determinará el número de unidades de los procesos que se van a construir en las distintas fases de implementación y otros componente de la planta de tratamiento, como: tuberías, canales de interconexión, edificaciones para operación y control, arreglos exteriores, etc. Así mismo, se determinaran los rubros de operaciones y mantenimiento, como de consumo de energía y personal necesario para las diferentes fases.

**Artículo 19:** Los proyectos deberán estar acompañados de evaluaciones de los impactos ambientales y de vulnerabilidad ante desastres de cada una de las alternativas, así como las medidas de mitigación correspondientes.

#### **TÍTULO IV PARA LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA**

**Artículo 20:** El propósito de los estudios de ingeniería básica es desarrollar la información adicional para que los diseños definitivos puedan concebirse con un mayor grado de seguridad. Entre los trabajos que se pueden realizar en este nivel se encuentran:

- Estudios adicionales de caracterización de las aguas residuales o desechos industriales que puedan requerirse para obtener datos que tengan un mayor grado de confianza.
- Estudios de fondo y movimientos de tierras en general.
- La finalidad de los estudios de tratabilidad es determinar en forma experimental el comportamiento de la biomasa. En algunas circunstancias se tratara de determinar el comportamiento del proceso de tratamiento, frente a sustancias inhibidoras o tóxicas. Estos estudios deben llevarse a cabo obligatoriamente para regiones donde se considere el uso inmediato de aguas del cuerpo receptor.
- Los estudios de tratabilidad podrán llevarse a cabo en plantas a escala de laboratorio, con una capacidad de alrededor de 40 l/d o planta a escala piloto con una capacidad de alrededor 40-60m<sup>3</sup>/d. El tipo tamaño y secuencia de los estudios se determinaran de acuerdo con las condiciones específicas del desecho.
- Se debe tomar en cuenta para los desechos industriales el tipo de tratabilidad físico-química que sea requerida de acuerdo con la naturaleza del desecho.

**Artículo 21:** Cuando se considere conveniente se realizaran en forma adicional, estudios de tratabilidad inorgánica para desarrollar criterios de diseño de otros procesos, como por ejemplo:

- Ensayos de sedimentación en columnas, para el diseño de tratamientos primarios.
- Ensayos de sedimentación y espesamiento, para el diseño de sedimentadores secundarios.
- Ensayos de dosificación química para el proceso de neutralización.
- Prueba de jarras para tratamiento físico-químico.

## TÍTULO V

### DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS

#### *Capítulo I: Aspectos generales*

**Artículo 22:** El diseño del sistema de tratamiento deberá estar sujeto a un cuidadoso análisis para justificar el dimensionamiento de los procesos de la planta para condiciones por encima del promedio.

**Artículo 23:** Se incluirá un aliviadero antes del ingreso a la planta para que funcione cuando el caudal sobrepase el caudal máximo horario de diseño de la planta y regrese al sistema.

**Artículo 24:** Para el diseño definitivo de la planta de tratamiento se deberá contar como mínimo con la siguiente información básica:

- Levantamiento topográfico detallado de la zona detallando donde se ubicaran las unidades de tratamiento y la zona de descarga de los efluentes.

- Datos geológicos y geotécnicos necesarios para el diseño estructural de las unidades, incluido nivel freático en caso de ser necesario.
- Datos hidrológicos del cuerpo receptor, incluido el nivel máximo de inundación para posibles obras de protección caso de ser necesario.
- Datos climáticos de la zona caso de ser necesario.
- Disponibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica caso de ser necesario.

**Artículo 25:** El diseño definitivo de una planta de tratamiento de aguas residuales consistirá de la memoria descriptiva y cálculo con los planos de proyecto, deberán presentarse teniendo en consideración que la contratación de la ejecución de las obras deberá incluir la puesta en marcha de la planta de tratamiento.

**Artículo 26:** Los documentos a presentarse comprenden:

- Memoria descriptiva y cálculo.
- La información básica señalada en el título IV.
- Los resultados del estudio del cuerpo receptor ser necesario.
- Resultados de la caracterización de las aguas residuales y de los ensayos de tratabilidad en caso de ser necesario.
- Dimensionamiento de los procesos unitarios de tratamiento.
- Resultado de la evaluación de impacto ambiental en caso de ser necesario.
- Manual de operación y mantenimiento.

**Artículo 27:** El proyecto deberá contener:

- Planos a nivel de ejecución de obra, dentro de los cuales, sin carácter limitante deben incluirse:
  - Planimetría general de la obra, ubicación de las unidades de tratamiento.

- Diseños hidráulicos y sanitarios de los procesos e interconexiones entre los procesos, los cuales comprenden planos de planta, cortes, perfiles hidráulicos y demás detalles constructivos.
- Planos estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos.
- Planos de obras generales como obras de protección, caminos, arreglos interiores, laboratorios, vivienda del operador, caseta de guardia, cerca perimetral, etc.

**Artículo 28:** Los sistemas de tratamiento deben ubicarse en un área suficientemente extensa y fuera de la influencia de inundaciones, y en caso de no ser posibles, se deberán proyectar obras de protección. El área deberá estar lo más alejada posible de los centros poblados. Las distancias deben justificarse en el estudio de impacto ambiental.

El proyecto debe considerar un área de protección alrededor del sistema de tratamiento, determinada en el estudio de impacto ambiental. El proyectista podrá justificar las distancias pequeñas si se incluye en el diseño procesos de control de olores y otras contingencias perjudiciales en caso de ser necesario.

**Artículo 29:** A partir del título VI en adelante se detallan los criterios que se utilizaran para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento y estructuras complementarias. Los valores que se incluyen son referenciales y están basados en el estado del arte de la tecnología de tratamiento de aguas residuales y podrán ser modificados por el proyectista, previa presentación, a la autoridad competente, de la justificación sustentadora basada en investigaciones y el desarrollo tecnológico. Los resultados de las investigaciones realizadas en el nivel local podrán ser incorporadas a la norma en actualizaciones posteriores.

Así mismo, todo proyecto de sistema de tratamiento de aguas residuales, deberá ser elaborado por un ingeniero sanitario colegiado, quien asume la

responsabilidad de la puesta en marcha del sistema. El ingeniero responsable del diseño no podrá delegar a terceros dicha responsabilidad.

En el Expediente Técnico del proyecto, deberá incluir las especificaciones de calidad de los materiales de construcción y otras especificaciones relativas a los procesos constructivos, acordes con las normas de diseño y uso de los materiales estructurales del Reglamento Nacional.

La calidad de las tuberías y accesorios utilizados en la instalación de planta de tratamiento, deberá especificarse en concordancia con las normas técnicas relativas a tuberías y accesorios.

## TÍTULO VI

### CARACTERIZACION Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA EL TRATAMIENTO

#### *Capítulo I: Caracterización del agua residual*

**Artículo 30:** La evaluación de las diferentes características de un agua residual debe seguir los métodos normales o estándar. Además una caracterización acertada de agua requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos.

**Artículo 31:** Para que una muestra sea representativa, se debe tomar en sitios de muestreos con flujo turbulento donde en agua este bien mezclada. El sitio de muestreo se debe seleccionar de acuerdo con cada problema individual de estudio.

**Artículo 32:** Los periodos de muestreo dependerán del régimen de variación del caudal, de la disponibilidad de recursos económicos y de los propósitos del programa de muestreo.

**Artículo 33:** El análisis del uso de agua y de mas fuentes de contaminantes son necesarios para la elaboración de diagramas de flujo que permitan formular mas apropiadamente un programa de muestreo.

**Artículo 34:** El diseño de proceso de las unidades de tratamiento debe basarse en el caudal máximo semanal para el periodo de diseño, excepto en casos especiales. El diseño hidráulico de la planta debe hacerse para el caudal máximo horario. Los caudales industriales deben calcularse para los periodos críticos de producción. La modularización de caudales para la expansión futura de la planta de tratamiento debe asociarse a estudios de costo mínimo, con excepción del nivel bajo de complejidad.

## **Capítulo II: Recolección y preservación de muestras**

**Artículo 35:** La cantidad de cada muestra simple es proporcional al caudal instantáneo de está.

**Artículo 36:** Se debe calcular el volumen de muestra necesario, por unidad de caudal de acuerdo con la siguiente expresión :

$$\text{Volumen necesario} = \frac{\text{Volumen total de la muestra compuesta}}{\text{Caudal promedio} * \text{Numero de muestras}}$$

**Ecuación 1.** Volumen de la muestra

**Artículo 37:** Se calcularan los volúmenes individuales de cada muestra multiplicando el resultado del volumen necesario descrito en el artículo anterior por el caudal correspondiente.

**Artículo 38:** Las muestras simples, sólo representa la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos.

**Artículo 39:** Las muestras simples son necesarias cuando el flujo del agua residual no es continuo, cuando la descarga de contaminantes es intermitente,

cuando las características del residuo son relativamente constantes o cuando el parámetro que se a analizar puede cambiar de manera significativa durante el periodo de muestreo.

**Artículo 40:** Dicha muestra puede ser representativa de espacios y tiempos mayores si se sabe con anterioridad que la composición es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales. Las muestras instantáneas se usan para:

- Estudiar variaciones y extremos en un flujo de desechos en determinado periodo.
- Evaluar la descarga si esta ocurre intermitentemente durante periodos cortos.
- Determinar si la composición de la corriente para hacer el muestreo es razonablemente constante.
- Determinar si los componentes por analizar son inestables o no pueden ser preservados.

**Artículo 41:** En general se usan muestras simples para el análisis de oxígeno disuelto, cloro residual, temperatura, pH, alcalinidad y acidez, coliformes y grasas y aceites.

**Artículo 42:** Las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace teniendo en cuenta el caudal en el momento de la toma.

**Artículo 43:** Se deben usar cuando se desea conocer resultados promedios.

**Artículo 44:** Una muestra compuesta (integrada) consisten en el análisis de muestras instantáneas tomadas en diferentes puntos simultáneamente o tan cerca como sea posible. La integración debe hacerse de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra. Las muestras compuestas deben usarse en alguno o varios de los siguientes casos:

- Caracterizar el caudal de un río, el cual varía su composición a lo largo de su trayecto y su ancho. Se toman varias muestras para diferentes puntos de sección transversal y se mezclan en proporción a los flujos relativos para cada sección.

- Tratamientos combinados para diferentes corrientes de aguas residuales separadas.

- Cálculo de las cargas (kg/d) de las sustancias contaminantes en la corriente de agua.

**Artículo 45:** Se recomienda las siguientes metodologías para volumen para la elaboración de muestras compuestas:

- Anemómetros (molinete)

Este dispositivo es de gran utilidad para el aforo de conductos forzados de gran diámetro o en corrientes naturales. Del conocimiento de la distribución de velocidades en la sección se puede determinar la velocidad media, el caudal y algunos coeficientes de corrección.

- Vertederos

Los vertederos pueden usarse en corrientes naturales de pequeña magnitud, en cuyo cauce pueda instalarse el vertedero. En corrientes de mayor magnitud, el vertedero puede ser una estructura hidráulica permanente para medición continua de caudales. Los vertederos deben calibrarse antes de utilizarlos.

- Tubo Pitot
- Volumétrico
- Equipos electrónicos

**Artículo 46:** Para ejecutar con éxito un programa de muestreo se debe tomar las siguientes consideraciones:

- Definir el objetivo específico de la muestra.
- Revisar la información existente sobre el agua que se va a muestrear.
- Identificar las fuentes contaminantes.

- Definir la variabilidad de la muestra.
- Seleccionar la localización más representativa
- Establecer el horario representativo de la variabilidad de la muestra.
- Definir las normas requeridas para satisfacer el objetivo propuesto.
- Acordar con el laboratorio la cantidad de muestras y los preservativos requeridos.
- Revisar con el laboratorista los resultados y la necesidad eventual de muestras adicionales.
- Elaborar siempre un informe breve que permita satisfacer el objetivo propuesto y correlacione las concentraciones determinadas con los caudales observados.

**Artículo 47:** Debe seguirse una cadena de custodia para los muestreos que se realicen porque para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de datos. Los procedimientos de una cadena de custodia son:

- Rótulos de muestras.
- Sellos de muestras.
- Libro de registro de muestras.
- Registro de la carta de custodia.
- Hoja de remisión de muestras.
- Transporte de las muestras al laboratorio.
- Recepción y registro de muestras.
- Análisis de las muestras.

**Artículo 48:** Los rótulos de muestra es porque deben usarse para evitar la confusión de muestras. La cinta de enmascarar es adecuada para este propósito. En la etiqueta debe incluirse la siguiente información:

- Número de la muestra.
- Nombre del colector.

- Fecha y hora del muestreo.

Los rótulos deben colocarse antes del período de muestreo. Deben escribirse con tinta indeleble a la hora del muestreo.

**Artículo 49:** Los sellos en la muestra son necesarios para impedir pérdidas y evitar la falsificación. La cinta de enmascarar se puede utilizar para este propósito. Debe colocarse la misma información del rótulo.

**Artículo 50:** Toda la información pertinente al trabajo de campo o muestreo debe consignarse en un libro de registro. Como mínimo debe incluir la siguiente información:

- Propósito del muestreo.
- Localización del punto de muestreo.
- Nombre y dirección del contacto en el campo.
- Propietario de la muestra.
- Tipo de muestra.

Debe identificarse el proceso que produce el vertimiento. También debe proveerse la composición de la muestra, incluidas concentraciones, número y volúmenes de muestras tomadas, descripción del punto y método de muestreo, fecha y hora de la recolección, nombre del colector, número de identificación del colector, método de transporte, referencias –planos o fotografías del sitio de muestreo, observaciones y medidas de campo y firmas del personal responsable. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, en general no es necesario incluir toda esta información en el libro de registro. Es deseable anotar suficiente información que permita la reconstrucción del muestreo sin apelar a la memoria del responsable de la recolección. El libro de registro debe protegerse y mantenerse en sitio seguro.

**Artículo 51:** El objetivo de una carta de custodia es determinar un punto del proceso en el que se pudo cometer un error. Debe llenarse la carta de custodia que acompaña a cada muestra o grupo de muestra. Esta incluye la siguiente información.

- Número de la muestra.

- Nombre del responsable de la recolección.
- Firma del responsable del muestreo.
- Fecha, hora y dirección del sitio de muestreo.
- Tipo de muestra.
- Fecha de envío al laboratorio y recepción.
- Forma de envío.
- Firmas de las personas involucradas en el manejo de la muestra, incluida la fecha de su manipulación.

**Artículo 52:** A las muestras se les debe asignar una hoja de remisión. La persona responsable del muestreo debe llenar su parte correspondiente. El personal de laboratorio debe completar la siguiente información:

- Nombre de la persona que recibe la muestra.
- Número de la muestra.
- Fecha de recibo de la muestra.
- Ensayos por realizar.

**Artículo 53:** La muestra debe ser transportada al laboratorio lo más pronto posible y debe ir acompañada con la carta de custodia y la hoja de remisión de la muestra.

**Artículo 54:** En el laboratorio se recibe la muestra y debe inspeccionarse sus condiciones de seguridad; deben revisarse los sellos y rótulos y deben compararse con lo consignado en la carta de custodia. Posteriormente se le debe asignar un número interno, se inscribe en el libro de registro de muestras del laboratorio, y debe almacenarse en un lugar seguro.

**Artículo 55:** El supervisor del laboratorio debe asignar la muestra para su análisis. El supervisor o el analista son por el cuidado y custodia de la muestra.

**Artículo 56:** El volumen de la muestra depende del número de parámetros que se desea determinar. En general para el análisis de un solo constituyente se requiera al menos 100 ml, para análisis de rutina de muestras

simples 2 l y para muestras compuestas 4 l. Se recomienda consultar al laboratorista la cantidad de muestra requerida para cada análisis.

**Artículo 57:** Existen distintos tipos de muestreo a tomar en cuenta definidos en el glosario de términos, muestreo manual y muestreo automático.

**Artículo 58:** Los recipientes para la muestra son de vital importancia porque pueden existir intercambios iónicos con las paredes del recipiente o producirse una adsorción sobre estas. Los recipientes por lo general están hechos de plástico y de vidrio, teniendo cada uno un uso específico.

**Artículo 59:** No debe utilizarse la misma muestra para ensayos químicos (orgánicos o inorgánicos), bacteriológicos y microscópicos debido a que los métodos de muestreo y manipulación son diferentes.

**Artículo 60:** Las muestras obtenidas en campo deben constituirse en una representación precisa del material del que se está haciendo el muestreo; por tal razón deben ser obtenidas, conservadas, transportadas y almacenadas de manera que cuando lleguen al laboratorio todavía sean representativas del material existente en el campo.

**Artículo 61:** Las muestras deben preservarse porque las concentraciones de la mayoría de los constituyentes de la muestra pueden estar en concentraciones muy bajas; por tanto, los procedimientos de muestreo y preservación deben seguirse cuidadosamente.

Las técnicas de preservación de muestras retardan los cambios químicos y biológicos que inevitablemente se dan después de colectada la muestra.

Las muestras se preservan para minimizar el potencial de volatilización o biodegradación entre el muestreo y el análisis de la muestra, retardar la acción biológica, retardar la hidrólisis de compuestos y complejos químicos, y para retardar la volatilización de los constituyentes.

**Artículo 62:** Entre los métodos de preservación se señalan:

- Control de pH
- Adición de reactivos. Dependiendo de la naturaleza de los cambios que se den en la muestra colectada, los reactivos que se

pueden agregar son: ácido nítrico. Algunos cationes pueden perderse por absorción o intercambio iónico con las paredes de los recipientes de vidrio. Entre estos se encuentran el aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc. En este caso, el ácido nítrico debe acidificar la muestra hasta un pH inferior a 2 para minimizar la precipitación y adsorción sobre las paredes del recipiente. Acido clorhídrico: para llevar hasta un pH inferior a 2. Acido sulfúrico: Para llevar hasta un pH menor de 2. Hidróxido de sodio: Para llevar a un pH mayor de 12.

- Al emplear reactivos es importante tener en cuenta que estos no deben interferir los análisis deseados.

- Uso de envases opacos o de color ámbar.
- Refrigeración.
- Filtración.
- Congelamiento.

**Artículo 63:** Una parte esencial del muestreo son los requerimientos para el manejo y preservación de las mismas. Por ello se hace las siguientes recomendaciones

**Tabla 6.**

Preservativos y período mínimo de retenimiento

Parámetro	Preservativo	Periodo máximo de almacenamiento
Acidez-alcalinidad	Refrigeración a 4°C	24 h
Calcio	Ninguno	7 d
Cianuros	NaOH para pH>10	24 h
Cloruros	Ninguno	7 d
Color	Refrigeración a 4°C	24 h
Conductancia específica	Ninguno	7 d
DBO	Refrigeración a 4°C	6 h
DQO	2 ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7 d
Dureza	Ninguno	7 d
Fenoles	1 g CuSO <sub>4</sub> -> H <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> para pH 4	25 h
Fluoruros	Ninguno	7 d
Fosforo	40mg HgCl <sub>2</sub>	7 d
Grasas y aceites	2 ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 40°C	24 d
Metales disueltos	2 ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> filtrado	6 meses
Metales totales	5mL HNO <sub>2</sub>	6 meses
Nitratos	40 mg HgCl <sub>2</sub>	7 d
Nitritos	40 mg HgCl <sub>2</sub>	2 d
Nitrógeno amoniacal	40 mg HgCl <sub>2</sub> a 4°C	7 d
Nitrógeno Kjodahl	40 mg HgCl <sub>2</sub>	Inestable
Oxígeno disuelto	Determinar in situ	Ninguno
pH	Determinar in situ	Ninguno
Sólidos	Ninguno	7 d
Sulfatos	Refrigeración a 4°C	7 d
Sulfuros	2 ml de acetato de zinc	7 d
Turbidez	Ninguno	7 d

Nota: (Antonio Rodríguez, 2006)

### **Capítulo III: Tipos de agua**

**Artículo 64:** Las características de un determinado tipo de agua que va a ingresar a las plantas de tratamiento serán diferentes, lo que define el tipo de unidades a tratar y la complejidad del sistema de tratamiento.

**Artículo 65:** Los vertidos residuales arrastran compuestos con los que las aguas han estado en contacto. Estos compuestos pueden ser:

- *Según su Naturaleza:*
  - Conservativos: Su concentración en el río depende exactamente de la ley de la dilución del caudal del vertido al del río. Generalmente: Compuestos Inorgánicos y estables ( $C_1$ ,  $SO_4$ )
  - No Conservativos: Su concentración no está ligada directamente a la del vertido. Son todos los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden alterarse en el río por vía Física, Química o Biológica ( $NH_4$ , fenoles, Materia Orgánica).

**Artículo 66:** Las aguas residuales de origen industrial son las que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.

**Artículo 67:** Se define como líquidos residuales a los que se derivan de la fabricación de productos, siendo principalmente disoluciones de productos químicos tales como lejías negras, los baños de curtido de pieles, las melazas de la producción de azúcar, los alpechines.

**Artículo 68:** Se debe intentar la recuperación de subproductos agua residual de proceso, se originan en la utilización del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa y que puede contaminarse con los productos de fabricación o incluso de los líquidos residuales. Generalmente su contaminación es <10% de la de los líquidos residuales aunque su volumen es 10-50 veces mayor.

**Artículo 69:** El agua de refrigeración indirecta que no ha entrado en contacto con los productos y por tanto la única contaminación que arrastran es su temperatura.

**Artículo 70:** Existen distintos de vertidos industriales:

- Continuos: Proviene de procesos en los que existe una entrada y una salida continua de agua (procesos de transporte, lavado, refrigeración, entre otras)
- Discontinuos: Proceden de operaciones intermedias. Son los más contaminados ( baños de decapado, baños de curtidos, licor negro, emulsiones, entre otros)

Al aumentar el tamaño de la industria, algunos vertidos discontinuos pueden convertirse en continuos.

**Artículo 71:** Puede sub-clasificarse las industrias según su tipo de vertido en este caso existe grandes subgrupos:

## **INDUSTRIAS CON EFLUENTES PRINCIPALMENTE ORGÁNICOS**

- Papeleras.
- Azucareras.
- Mataderos.
- Curtidos.
- Conservas (vegetales, carnes, pescado, entre otros).
- Lecherías y subproductos (leche en polvo, mantequilla, queso, entre otros).
- Fermentación (fabricación de alcoholes, levaduras, entre otros).
- Preparación de productos alimenticios (aceites y otros).
- Bebidas.
- Lavanderías.

## **INDUSTRIAS CON EFLUENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS**

- Refinerías y Petroquímicas
- Industrias de maquillaje o productos de belleza
- Textiles
- Fabricación de productos químicos, varios

## **INDUSTRIAS CON EFLUENTES PRINCIPALMENTE INORGÁNICOS**

- Limpieza y recubrimiento de metales
- Explotaciones mineras y salinas
- Fabricación de productos químicos, inorgánicos.

## **INDUSTRIAS CON EFLUENTES CON MATERIAS EN SUSPENSIÓN**

- Corte y pulido de mármol y otros minerales
- Laminación en caliente y colada continua.
- Fabrica de cerámicas.

**Artículo 72:** Existen dificultades apuntadas para establecer unos valores para las características de las aguas residuales, sin embargo a continuación se señala una orientación de los valores más frecuentes que deben medirse para algunas industrias:

## **INDUSTRIAS AUTOMOTRIZ**

- Sólidos suspendidos
- Zinc
- DBO
- Cromo total
- Sulfatos

- Cianuro
- Cobre
- Hierro
- Aceite y grasas
- Fenoles
- Nitrato
- Fosforo
- Plomo
- Cadmio
- Níquel
- Otros

#### **INDUSTRIAS CERVECERA**

- DBO
- DQO
- pH
- Sólidos suspendidos
- Sólidos sedimentables
- Aceite y grasas
- Nitrógeno total
- Fosforo total
- Nitratos + nitritos
- Temperatura
- Color
- Otros

## **INDUSTRIAS CEMENTO, CONCRETO, CAL Y YESO**

- pH
- Sólidos suspendidos
- Temperatura
- Cromo total
- Zinc
- Otros

## **INDUSTRIAS DE ACABADOS DE METALES**

- Aceite y grasas
- pH
- Sólidos suspendidos
- Metales pesados (cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, zinc)
- Mercurio
- Cianuro
- Otros

## **INDUSTRIAS DEL ACERO**

- pH
- Aceite
- Sulfatos
- Cianuros
- Fenoles
- Sólidos suspendidos
- Hierro
- Temperatura
- Cromo
- Zinc

- Otros

## **INDUSTRIAS DEL ALUMINIO**

- Sólidos suspendidos
- Fosforo
- Aceite y grasa
- pH
- Fenoles
- Otros

## **INDUSTRIAS DE ASBESTO**

- DBO
- DQO
- pH
- Sólidos suspendidos
- Cromo total
- Zinc
- Otros

## **INDUSTRIAS DE AZUCAR DE CAÑA**

- Sólidos suspendidos
- Sólidos sedimentables
- DBO
- DQO
- Grasas y aceites

- Fenoles
- Sulfuros
- Otros

### **INDUSTRIAS DE BEBIDAS GASEOSAS**

- Sólidos suspendidos
- Sólidos sedimentables
- DBO
- DQO
- Aceite y grasas
- Otros

### **INDUSTRIAS DE CURTIDOS Y ACABADOS DE CUERO**

- DBO
- DQO
- Cromo hexavalente
- Grasas y aceites
- pH
- Sólidos suspendidos
- Color
- Temperatura
- Otros

## **INDUSTRIAS DE ENLATADOS Y PRESERVACION DE FRUTAS Y VERDURAS**

- DBO
- DQO
- pH
- Sólidos suspendidos
- Color
- Coliformes fecales
- Fosforo total
- Temperatura
- Otros

## **INDUSTRIAS DE FERTILIZANTES FOSFATADOS**

- Hierro
- Nitrógeno
- pH
- Temperatura
- Sólidos suspendidos
- Mercurio
- Sulfatos
- Arsénico
- Fosforo total
- Otros

## **INDUSTRIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS**

- Nitrógeno
- Cromo total

- Hierro
- Aceites y grasas
- pH
- Sulfatos
- Sólidos suspendidos
- Temperatura
- Otros

### **INDUSTRIAS DE GALVANOPLASTICA**

- Sólidos disueltos
- DQO
- Aceites y grasas
- Metales pesados (cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, zinc)
- Aluminio
- Mercurio
- Bario
- Manganeso
- Otros

### **INDUSTRIAS DE JABONES Y DETERGENTES**

- Sólidos disueltos
- Sólidos sedimentables
- DBO
- DQO
- Aceites y grasas
- Sustancias tensoactivas-detergentes (ABS y LAS)
- Otros

## **INDUSTRIAS DE MATERIALES DE PLASTICO Y SINTETICOS**

- Sólidos suspendidos
- DBO
- DQO
- pH
- Aceites y grasas
- Fenoles
- Sulfatos
- Cianuro
- Otros

## **INDUSTRIAS DE PRODUCCIÓN DE CARNES**

- DBO
- DQO
- pH
- Sólidos suspendidos
- Sólidos sedimentables
- Aceites y grasas
- Coliformes fecales
- Color
- Otros

## **INDUSTRIAS DE PULPA DE PAPEL**

- DBO
- DQO
- Grasas y aceites
- pH
- Sólidos suspendidos

- Fosforo total
- Coliformes fecales
- Nitrógeno total
- Color
- Nitratos+ nitritos
- Fenoles
- Metales pesados (cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, zinc)
- Otros

### **INDUSTRIAS DE REFINACION DE PETROLEO**

- DBO
- DQO
- Cromo total
- Aceite
- pH
- Sulfuro
- Sólidos suspendidos
- Temperatura
- Color
- Plomo
- Sulfatos
- Otros

### **INDUSTRIAS DE VIDRIO**

- pH
- Fosforo total
- Sulfatos
- Sólidos suspendidos
- Temperatura

- DBO
- DQO
- Zinc
- Plomo
- Otros

### **DESTILERÍAS**

- Sólidos disueltos
- Sólidos sedimentables
- DBO
- DQO
- Aceite y grasas
- Nitrógeno total
- Fosforo total
- Nitratos + nitritos
- Otros

### **INDUSTRIA GANADERA**

- DBO
- DQO
- Sólidos suspendidos
- pH
- Coliformes fecales
- Nitrógeno total
- Nitratos + nitritos
- Otros

### **INDUSTRIA LECHERA**

- DBO

- DQO
- Sólidos suspendidos
- pH
- Grasas y aceites
- Color
- Nitrógeno total
- Nitratos + nitritos
- Fosforo total
- Temperatura
- Otros

#### **INDUSTRIA MOLINERA**

- DBO
- DQO
- Sólidos suspendidos
- pH
- Otros

#### **INDUSTRIA TEXTIL**

- DBO
- DQO
- pH
- Sólidos suspendidos
- Grasas y aceites
- Cromo total
- Temperatura
- Fenoles
- Metales pesados (cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, zinc)
- Otros

## **INDUSTRIA QUIMICA INORGANICA, ALCALIS Y CLORO**

- DBO
- DQO
- pH
- Sólidos suspendidos
- Mercurio
- Sulfato
- Cadmio
- Cianuro
- Cobre
- Cromo total
- Fenoles
- Arsénico
- Fosforo total
- Otros

## **INDUSTRIA QUIMICA ORGANICA**

- DBO
- DQO
- Cromo total
- Aceite
- pH
- Fenoles
- Sulfuro
- Sólidos suspendidos
- Temperatura
- Color

- Plomo
- Sulfatos
- Otros

**Artículo 73:** Existen ciertos contaminantes que son específicos de ciertas industrias es por ello que se exige la valoración y clasificación de los contaminantes específicos, con el fin de tener la evaluación de los riesgos potenciales ocasionados por dichos contaminantes, por lo que se requiere conocer aspectos tales como:

- Tipo y estructura del compuesto químico.
- Propiedades físicas y químicas fundamentales, biodegradabilidad.
- Producción total.
- Orígenes y vías de distribución, funciones para las que se utiliza y lugares de aplicación.
- Condiciones prácticas en las que se realizan a los cauces, los vertidos que contienen esos contaminantes químicas, microbiológicas, radiológicas y toxicológicas en general, así como evaluación periódica de su estado de calidad.
- Cumplimiento de las normativas legales impuestas por las autoridades en materias de aguas, que imponen unos determinados y secuenciales controles analíticos.

## **TÍTULO VII**

### **ESTRUCTURA DE ENTRADA**

**Artículo 74:** Se entiende como estructura de entrada al conjunto de estructuras ubicadas entre el punto de entrega del emisor y los procesos de tratamiento preliminar. En términos generales dichas estructuras deben dimensionarse para el caudal máximo horario.

**Artículo 75:** Se deberá proyectar una estructura de recepción del emisor que permita obtener velocidades adecuadas y disipar energía en el caso de líneas de impulsión.

**Artículo 76:** Inmediatamente después de la estructura de recepción se ubicará el dispositivo de desvío de la planta. La existencia, tamaño y consideraciones de diseño de estas estructuras se justificaran debidamente teniendo en cuenta los procesos de la planta y el funcionamiento en condiciones de mantenimiento correctivo de uno o varios procesos.

**Artículo 77:** La ubicación de la estación de bombeo (en caso de existir) dependerá del tipo de bomba. Para el caso de bombas del tipo tornillo, esta puede estar colocada antes del tratamiento preliminar, precedida de rejillas gruesas con una abertura menor al paso de rosca. Para el caso de bombas centrifugas sin desintegrador la estación de bombeo deberá ubicarse después del proceso de desbaste.

### ***Capítulo I: Aforos***

**Artículo 78:** Para la medición de caudales se puede utilizar los llamados vertederos planos y los medidores de régimen crítico.

**Artículo 79:** Para caudales menos de 60L/s se recomienda el uso de vertederos tipo triangulares de 90°, y para caudales hasta de un 1 m<sup>3</sup>/s, los vertederos rectangulares.

**Artículo 80:** En caso de existir riesgo de acumulación de materia sedimentables antes de un vertedero, se debe procurar usar un medidor de régimen crítico, en el que se destaca la canaleta Parshall.

## *Vertederos*

**Artículo 81:** Un vertedero es una estructura sencilla, barata, fácil de instalar, pero costosa de mantener. Pues el material sedimentables se acumula en él, y debe removerse permanentemente para sí obtener valores exactos de caudal.

**Artículo 82:** Se debe mantener una velocidad constante por ello se habla de dispositivos reguladores.

**Artículo 83:** Se debe disipar la velocidad de entrada de flujo al vertedero, esto se logra con una tanquilla rompe carga del flujo antes del vertedero.

**Artículo 84:** El vertedero debe poseer una cabeza suficiente para desarrollar la zona de aquietamiento y para obtener descargar libre aguas abajo, con el objeto de eliminar la sugerencia y cualquier reducción en la exactitud de la lectura del nivel del agua.

**Artículo 85:** La lámina de agua que abandona la cresta del vertedero se denomina napa, y el vertedero debe descargar de tal manera que permita un flujo libre de aire por debajo de la napa.

**Artículo 86:** Si el nivel del agua, aguas abajo del vertedero, se eleva a una altura superior a la cresta del vertedero, se debe medir el nivel de agua aguas arriba y aguas abajo del vertedero, para hacer el cálculo de caudal.

**Artículo 87:** La lectura de la cabeza sobre la cresta del vertedero debe hacerse a una distancia, aguas arriba del vertedero, de tres a cuatro veces la cabeza máxima esperada sobre él.

**Artículo 88:** Para un vertedero triangular sin contracciones la ecuación de cálculo es:

$$Q = 1,84 \times L \times H^{1,5}$$

### **Ecuación 1. Calculo del vertedero triangular**

Donde: Q= Caudal, m<sup>3</sup>/s

H= Cabeza sobre el vertedero. Cabeza mínima es de 0.06m

L= Longitud de la cresta del vertedero, m.

En caso de vertederos tipo triangulares de 90° la ecuación es:

$$Q = 1,4 \times H^{2,5}$$

### **Ecuación 2. Calculo del vertedero triangular a 90°**

Donde: Q= Caudal, m<sup>3</sup>/s

H= Cabeza

L= Longitud de la cresta del vertedero, m.

**Artículo 89:** Para un vertedero rectangular de pared delgada con contracciones la ecuación de cálculo es:

$$Q = 1,84 \times (L - 0,2H)H^{1,5}$$

### **Ecuación 3. Calculo del vertedero rectangular de pared delgada**

Donde: Q= Caudal, m<sup>3</sup>/s

H= Cabeza sobre el vertedero. Cabeza mínima es de 0.06m

L= Longitud de la cresta del vertedero, m.

**Artículo 90:** Para un vertedero rectangular de pared gruesa con contracciones la ecuación de cálculo es:

$$Q = 1,7 \times L \times H^{1,5}$$

### **Ecuación 4. Calculo del vertedero rectangular de pared gruesa**

Donde: Q= Caudal, m<sup>3</sup>/s

H= Cabeza sobre el vertedero.

L= Longitud de la cresta del vertedero, m.

**Artículo 91:** El aforados de flujo critico más conocido es la canaleta Parshall, la cual consta de una construcción lateral que forma la garganta llamada (W) y de una caída brusca en el fondo, en la longitud correspondiente a la garganta, seguida por un ascensor gradual coincidente con la parte divergente.

**Artículo 92:** La introducción de la caída en el piso de la canaleta produce un flujo supercrítico a través de la garganta. Por ello la canaleta debe construirse según las siguientes dimensiones:

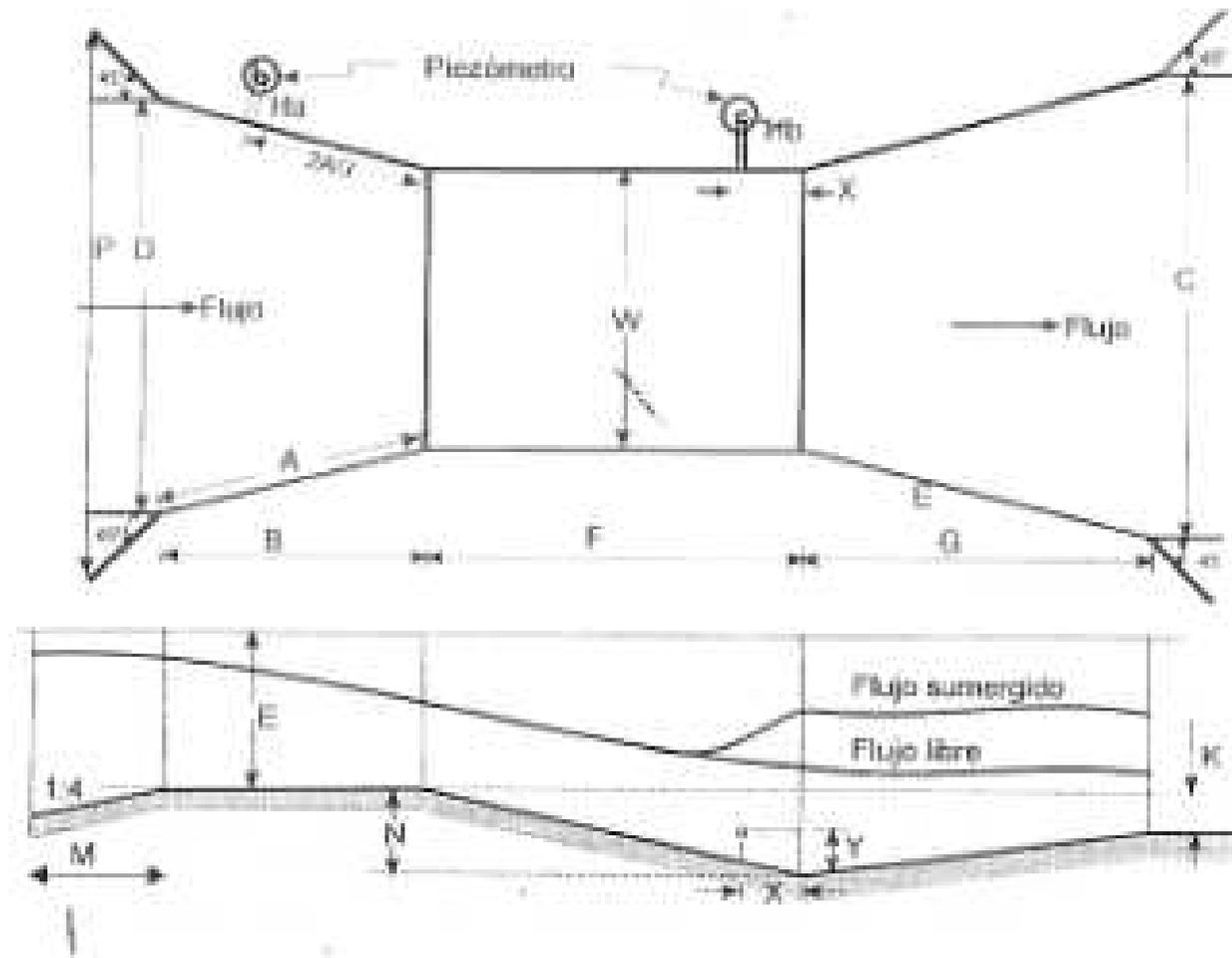


Figura 57. Composición de la canaleta Parshall. Nota: (Antonio Rodríguez, 2006)

**Tabla 7.**

Dimensiones de la canaleta Parshall

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	46,6	30,5	76,8	2,5	3,8
15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4	46,6	30,5	90,2	5,1	7,6
22,9	88	86,4	38	57,5	61	30,5	45,7	7,6	11,4	46,6	30,5	108	5,1	7,6
30,5	137,2	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	157,6	5,1	7,6
61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
91,5	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	222,3	5,1	7,6
122	183	179,5	152,5	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	271,1	5,1	7,6
152,5	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	308	5,1	7,6
182,8	213,5	209	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	344,2	5,1	7,6
213,5	228,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	381	5,1	7,6
244	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	417,2	5,1	7,6
305	274,5	427	366	475,9	122	91,5	183	15,3	34,3	-	-	-	30,5	22,9

*Nota: (Antonio Rodríguez, 2006)*

**Artículo 93:** La canaleta Parshall se nomina según el ancho de la garganta. La ecuaciones para cálculo del caudal son las siguientes:

**Tabla 8.**

Formulas para canaleta Parshall

Ancho de la garganta (cm)	Ecuación	Capacidad(l/s)
2,5	$Q= 0,55Ha^{1,5}$	0,3-5
5	$Q= 0,11Ha^{1,5}$	0,6-13
7,6	$Q= 0,176Ha^{1,547}$	0,8-55
15,2	$Q= 0,381Ha^{1,58}$	1,5-110
22,9	$Q= 0,535Ha^{1,53}$	2,5-250
30,5	$Q= 0,690Ha^{1,522}$	31-455
45,7	$Q= 1,054Ha^{1,538}$	4,3-700
61	$Q= 1,426Ha^{1,55}$	12-950
91,4	$Q= 2,182Ha^{1,566}$	17-1.400
121,9	$Q= 2,935Ha^{1,578}$	37-1.900
152,4	$Q= 3,728Ha^{1,587}$	60-2.400
182,8	$Q= 4,515Ha^{1,595}$	70-2.900
213,4	$Q= 5,306Ha^{1,601}$	115-3.450
243,8	$Q= 6,101Ha^{1,606}$	130-3.950
305	$Q= 7,563Ha^{1,6}$	250-5.660

Q en m<sup>3</sup>/s; H en m

*Nota:* (Romero Jairo, (2008))

**Artículo 94:** El tamaño de la canaleta se debe seleccionar teniendo en cuenta el efecto del ascenso en el nivel del agua, el ancho del canal y la capacidad requerida.

**Artículo 95:** Generalmente el ancho de garganta debe estar entre 1/3 y ½ del ancho del canal.

**Artículo 96:** Para que el flujo no sea sumergido, debido a una elevación alta del agua, aguas debajo de la canaleta, y se presente una reducción de la velocidad que afecte la medida del caudal, tomando en cuenta la calibración de la relación de sumergencia  $H_b/H_a$ , sea menor a 0,6 para canaletas de garganta menos de 0,3m; menor de 0,7 para canaletas de  $0,3 \leq W \leq 2,4$  m y menor de 0,8 para canaletas de  $3m \leq W \leq 14m$ .

## TÍTULO VIII TRATAMIENTO PRELIMINAR

### ***Capítulo I: Rejas, tamices y trituradores***

#### *Rejas*

**Artículo 97:** Las rejas tienen como objetivo la remoción de los materiales gruesos o en suspensión, los cuales pueden ser retirados mecánica o manualmente. Después de retirado pueden triturarse, para incorporarlos en las aguas residuales.

**Artículo 98:** El tratamiento preliminar comprende: rejas, trituradores, desarenadores, tanques de remoción de aceites y grasas.

**Artículo 99:** Las rejas deben utilizarse en toda planta de tratamiento aun en las más simples.

**Artículo 100:** Se diseñaran preferiblemente rejas de limpieza manual, salvo que la cantidad de material retenido justifique la limpieza mecanizada.

**Artículo 101:** El diseño de las rejas, tamices y trituradores debe incluir:

- Una plataforma de operación y drenaje del material recolectado con barandas de seguridad.
- Iluminación para la operación durante la noche.

- Espacio suficiente para el almacenamiento temporal del material recolectado en condiciones sanitarias adecuadas.
- Solución técnica para la disposición final del material.
- Las compuertas necesarias para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades.

**Artículo 102:** El diseño de los canales se efectuará para las condiciones del caudal máximo horario, pudiéndose considerar las siguientes alternativas:

- Tres canales con rejas de igual dimensión, de los cuales uno servirá de by pass en caso de emergencia o mantenimiento. En este caso dos de los tres canales tendrán a capacidad para conducir el máximo horario.
- Dos canales con rejas, cada uno dimensionados para el caudal máximo horario.
- Para instalaciones pequeñas puede utilizarse un canal con rejas con by pass para el caso de emergencia o mantenimiento.

**Artículo 103:** Las rejas se fabricaran con barras de acero soldadas a un marco que coloca transversalmente al canal. El ángulo de inclinación de las barras de las rejas de limpieza manual será entre 45 y 60 grados con respecto a la horizontal.

**Artículo 104:** El espaciamiento entre las barras estar entre 20 y 50 mm. Si no se dispone de un sistema inadecuado de recolección de residuos sólidos se recomienda un espaciamiento no mayor a 25m.

**Artículo 105:** El espacio entre las barras se escogerá de modo que la velocidad del canal antes y a través de las barras sea adecuada. La velocidad a través de las barras limpias será de 0,60 m/s a caudales medios y 0,90 m/s a caudal máximo horario. Las velocidades deben verificarse para los caudales mínimos, medio y máximo.

**Artículo 106:** Determinada las dimensiones se procederá a calcular la velocidad del canal a través de las barras, las misma que debe mantenerse entre 0,30 y 0,60 m/s, sientio 0,45 m/s un valor comúnmente utilizado.

**Artículo 107:** En la determinación del perfil hidráulico se calculara la perdida de carga a través de las rejás, para condiciones del caudal máximo horario y 50% del área obstruida. Se utilizará el valor más desfavorable obtenido al aplicar las correlaciones para el cálculo de pérdida de carga. El tirante de agua en el canal antes de las rejás y el borde libre se comprobara para condiciones de caudal máximo horario y 50% de las rejás obstruidas.

**Artículo 108:** La eficiencia en función de las barras y la abertura entre ellas será:

**Tabla 9.**

Eficiencia de las rejás

Espesor barras		Eficiencia
Mm	Pulgadas	
6,35	1/4	0,8
7,93	5/16	0,768
9,52	3/8	0,728
11,12	7/16	0,696
12,7	1/2	0,667

Nota: NTM (2006)

**Artículo 109:** Las pérdidas de carga en las rejás de barras son función de la forma de la barra y de la altura cinética del flujo entre las barras. Se usa la siguiente ecuación para el cálculo:

$$h_L = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right) h_v \text{sen}\theta$$

**Ecuación 5. Ecuación de pérdida de carga**

Donde:  $h_L$ : Perdida de carga en metros.

$\beta$ : Factor de forma de la barra.

$W$ : Anchura máxima transversal de las barras en la dirección de la corriente, en metros.

$b$ : Separación mínima entre barras, en metros.

$H_v$ : Altura cinética del flujo que se aproxima a la reja en metros.

$\Theta$ : Angulo de la reja respecto a la horizontal.

**Tabla 10.**

Valores de  $\beta$  de Kirschmer

Valores de $\beta$ de Kirschmer	
Tipo de barra	$\beta$
	2,42
	1,83
	1,79
	0,76

*Nota:* Altuve y Ramirez (2011)

**Artículo 110:** El cálculo de la cantidad de material retenido se determinara de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 11.**

Cantidad de material retenido

Abertura (cm)	Cantidad (litros de material retenido l/m3)
4	0,0085
3,5	0,0120
2,5	0,0233
2	0,0375

*Nota.* Altuve y Ramirez (2011)

**Artículo 111:** La remoción de material retenido en plantas pequeñas se puede retirar de maneta manual y ser enterrado o incinerado. En plantas grandes y mediadas puede triturarse y regresarse al agua residual.

**Artículo 112:** Las pérdidas de carga en las rejillas viene dada por:

$$h_f = \frac{V^2 - v^2}{2g} \times \frac{1}{0,7}$$

**Ecuación 6. Ecuación de pérdida de carga**

Donde:  $h_L$ : Perdida de carga en metros.

V: Velocidad a través de las barras aproximadamente igual 0,6 m/s

v: Velocidad aguas arriba de la rejilla:  $0,6 \times \text{eficiencia}$

g: Aceleración de la gravedad

**Artículo 113:** Posterior al cálculo de la pérdida se debe calcular cuando la misma este sucia a un 50% por ende se debe calcular para un  $V'$  igual a dos veces V.

**Artículo 114:** Para facilitar la operación debe preverse en la instalación de limpieza manual una plataforma para la colocación momentánea del material retirado de la rejilla. Inclinación 4%. Con drenado hacia el propio canal.

**Artículo 115:** Puede instalarse una caseta metálica con puertas de acceso para los mecanismos de la zona superior de las rejillas por encima del nivel del agua en las condiciones de funcionamiento, que encierran el mecanismo y la tolva de basura. Se sugiera que no se instalen en las cámaras de reja situadas bajo tierra y en zonas cerradas al público en general.

**Tabla 12**

Descripción de los dispositivos desbaste empleados en el tratamiento de las aguas

Superficie de desbaste					
Tipo de estudio	Clasificación por tamaño	Intervalo de paso, $\text{cm}^2$	Material	Aplicación	
Reja de barras	Grueso	1,5 - 3,75	Acero, acero inoxidable	Pretratamiento	

Nota. (Metcalf-Eddy, 1977)

## Tamices

**Artículo 116:** Deben ser de tipo disco o de tambores provistos de una tela de malla fina de acero inoxidable o de un material no ferroso.

**Artículo 117:** Las aberturas deben oscilar entre 32 a 22 mm

**Artículo 118:** Se debe colocar rejillas para la protección de las boquillas de los filtros biopercoladores contra las obstrucciones así como para la separación de los efluentes de los artículos de forma u otros objetos de origen residual, se debe colocar compuertas.

**Artículo 119:** Se recomienda usar los tamices antes de la evacuación en aguas residuales de fábricas de envasado, conservas, curtidors, textiles, papeleras, entre otros.

**Tabla 13.**

Descripción de los dispositivos de tamices empleados en el tratamiento de las aguas

Superficie de desbaste				
Tipo de estudio	Clasificación por tamaño	Intervalo de paso, cm <sup>2</sup>	Material	Aplicación
<b>Tamices</b>				
<b>Inclinado (fijo)</b>	Medio	0,025 - 0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
<b>Inclinado (giratorio)</b>	Grueso	0,075 X 0,225 X 5,0	Placas de bronce o de cobre pulido	Pretratamiento
<b>Tambor (giratorio)</b>	Grueso	0,25 - 0,50	Malla de cuña de acero inoxidable	Pretratamiento
	Medio	0,025 - 0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario

	Fino	6 - 35 micras	Mallas de poliéster y de acero inoxidable	Eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios
<b>Disco giratorio</b>	Medio	0,025 - 0,1	acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	0,0025 - 0,05	acero inoxidable	Tratamiento primario
<b>Centrifugo</b>	Fino	0,005 - 0,05	acero inoxidable, poliéster y diversos tipos de telas	Tratamiento primario, Tratamiento secundario con tanque de sedimentación y eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios

$$\Delta h = \frac{1}{C(2g)} \left( \frac{Q}{A} \right)^2$$

**Ecuación 7.** Cálculo de la pérdida de carga

Donde: Q: Caudal que atraviesa el tamiz

C: Coeficiente de descarga 0,6 para un tamiz limpio

A: superficie sumergida.

Cantidad de residuos sólidos

**Artículo 120:** La cantidad de basura recolectada depende del tipo de industria, de la época del año, factores ambientales y ubicación geográfica, sin embargo se realiza la siguiente recomendación para efectuar la estimación de

la cantidad: la cantidad de basuras separadas por rejillas varía generalmente de 3 a 30 l/1000m<sup>3</sup> de agua residual tratada; en promedio es de 1, 25 l/1000m<sup>3</sup>.

**Artículo 121:** Los medios para eliminar las basuras son: 1) descarga a trituradores o bombas desintegradoras donde son trituradas y retornadas al agua residual y 2) eliminación por transporte a zonas de relleno (vertederos).

**Artículo 122:** Los trituradores deben ser previamente probados de acuerdo con el tipo de agua pues existe la posibilidad que aparezcan partículas de naturaleza filamentosa, que ocasionan enredos en forma de bolas causando problemas en el funcionamiento en los mecanismos situados a continuación de estos y por otro lado alcanzan acentuar el problema de espuma en los digestores.

**Artículo 123:** En pequeñas instalaciones, la basura podrá eliminarse enterrándola en el terreno de la planta o bien eliminándola junto con la basura procedente del municipio, en instalaciones grandes la incineración puede constituir una solución adecuada.

#### *Trituradores*

**Artículo 124:** Su finalidad es la desintegración mecánica de los materiales gruesos o en suspensión. Los cuales ya desintegrados pueden permanecer con el agua el resto del proceso.

**Artículo 125:** Existen distintos tipos de trituradores y varios fabricantes que los producen por ello es conveniente consultar los manuales preparados por los fabricantes de estos equipos en lo que se hace referencia a dimensiones del canal, capacidades, sumersión aguas arriba y abajo y exigencias energéticas.

**Artículo 126:** Los dispositivos trituradores pueden ir precedidos de desarenadores, cuyo objeto es alargar la vida del equipo y reducir el desgaste de la superficie cortante y de aquellas otras zonas de los mecanismos donde exista un pequeño espacio libre entre las partes fijas y móviles.

**Artículo 127:** Pueden instalarse un depósito de regulación de las estaciones de bombeo para proteger las bombas contra las obstrucciones causadas por objetos grandes.

**Artículo 128:** Es preciso proveer un by-pass a los trituradores para el caso de que se presenten caudales que excedan la capacidad de la instalación, y también en caso de falla mecánica o corte eléctrico.

#### Dilaceradores

**Artículo 129:** Tiene por objeto desintegrar las materias sólidas arrastradas por el agua. Estas materias en lugar de separarse del efluente bruto, se trituran y continúan en el circuito del agua hacia las siguientes fases del tratamiento.

**Artículo 130:** Los residuos retenidos en las rejillas pueden secarse o incinerarse, pero ello obliga a depositarlos previamente con los consiguientes malos olores y atracción de ratas e insectos.

**Artículo 131:** Existen dos tipos de dilaceradores: 1) Dilaceradores sin elevación de agua: Presentan la ventaja de que sólo producen una pequeña pérdida de carga y de que absorben una pequeña cantidad de energía y 2) Dilaceradores en línea: Trituran los sólidos a la vez que impulsan el agua.

**Artículo 132:** Se señalan unas características de los dilaceradores.

**Tabla 14**

Características de los dilaceradores

Tipo	Caudales (m <sup>3</sup> /h)	Altura de agua máxima en el canal (m)	Perdida de carga máxima (m)	Altura manométrica de impulsor	Potencia del motor eléctrico (Kw)
Sin elevación de agua	5 a 8000	0.3 a 1.2	0.1 a 0.35		0.25 a 4
En línea	50 a 300			0 a 0.2	7.5 a 20

*Nota.* Altuve y Ramirez (2011)

## **Capítulo II: Tanques de igualación**

**Artículo 203:** Su función es amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme. La igualación se puede usar también para amortiguar las variaciones en el pH y en la concentración de constituyentes tóxicos presentes en el agua residual a tratar.

**Artículo 204:** Después de las rejillas, desarenador y medición de gasto, el agua residual pasa a los tanques de igualación que la colectan y almacenan; a partir de ellos se bombea con un gasto constante hacia los procesos de tratamiento.

**Artículo 203:** El volumen de compensación viene dado por:

$$V_C = (Q_{MÁX} - Q_{MED}) \times t_D$$

Donde:

$t_D$ : Tiempo que dura el  $Q_{MÁX}$

### **Ecuación 8. Calculo de volumen de compensación**

**Artículo 133:** Para el diseño se tomaran las siguientes consideraciones: Se asumirá que el tiempo de duración del caudal máximo horario.

$$V_{MIN} = Q_{MED} \times t_r$$

Donde:

$t_r$ : Tiempo de residencia

### **Ecuación 9. Calculo del volumen mínimo.**

**Artículo 134:** Se tomara como volumen total, es decir el volumen de compensación la sumatoria del volumen de compensación más el volumen mínimo.

**Artículo 205:** El cálculo del volumen del tanque de Igualación ( $V_T$ ) se hará de la siguiente manera:

$$V_T = V_C + V_{MIN}$$

Donde:

$V_C$ : Volumen de Compensación

$V_{MIN}$ : Volumen Mínimo

**Ecuación 10.** Cálculo de volumen del tanque de igualación.

**Artículo 135:** El tanque de igualación también es utilizado para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida, esta separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida.

### ***Capítulo III: Desarenadores***

**Artículo 136:** Su propósito es la remoción por sedimentación de la arena y otros residuos minerales pasados. El material en ellos se puede remover de manera manual o mecánica, debiendo ser enterrados.

**Artículo 137:** La velocidad del agua en el desarenador es del orden de 0,3 m/s (+/-20%). Velocidad inferior a 0,15 m/s causara depósitos de materia orgánica. Velocidad superior a 0,4 m/s permite el paso de la arena.

**Artículo 138:** Para mantener la velocidad constante hay que proyectar el desarenador con sección adecuada con un dispositivo controlador.

**Artículo 139:** La profundidad del desarenador para el gasto máximo se conoce a partir de controlador de velocidad. Conocida la profundidad se calcula el largo el funciona de la velocidad de sedimentación de la menor partícula a remover.

**Artículo 140:** El ancho se obtiene de manera a que resulte una velocidad de 0,3 m/s.

**Artículo 141:** El largo se obtiene según la fórmula:

$$L = \frac{V}{v} D$$

### **Ecuación 12. Largo del desarenador**

L: Largo del desarenador

V: Velocidad del agua en m/s

v: Velocidad de sedimentación

D: Profundidad, altura del agua.

**Artículo 142:** Se recomienda aumentar el largo en 50% por razones de seguridad.

**Artículo 143:** La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional.

**Artículo 144:** En los cuatro niveles de complejidad deben emplearse desarenadores cuando sea necesario cumplir con lo siguiente :

- Protección de equipos mecánicos contra la abrasión
- Reducción de la formación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales
- Reducción la frecuencia de limpieza de la arena acumulada en tanques de sedimentación primaria y digestores de lodos.
- Minimización de pérdida de volumen en tanques de tratamiento biológico.
- Antes de las centrífugas, intercambiadores de calor y bombas de diafragma de alta presión.

**Artículo 145:** Los desarenadores serán preferentemente de limpieza manual, sin incorporar mecanismos, excepto en el caso de desarenadores para instalaciones grandes. Según el mecanismo de remoción, los desarenadores

pueden ser a gravedad de flujo horizontal o helicoidal. Los primeros pueden ser diseñados como canales de forma alargada y de sección rectangular.

**Artículo 146:** La transición debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de  $12^{\circ}30'$ .

**Artículo 147:** La velocidad de paso por el vertedero de salida debe ser pequeña para causar menor turbulencia y arrastre de material (Krochin,  $V=1\text{m/s}$ ).

**Artículo 148:** La llegada del flujo de agua a la zona de transición no debe proyectarse en curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara.

**Artículo 149:** La relación largo/ancho debe ser entre 10 y 20.

**Artículo 150:** La sedimentación de arena fina ( $d<0.01\text{ cm}$ ) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de número de Reynolds menores de uno ( $Re<1.0$ ).

**Artículo 151:** La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1.0 y 1 000.

**Artículo 152:** La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1 000.

**Artículo 153:** Cuando el peso específico de la arena, debido a condiciones locales, sea inferiores a 2,65 se debe pensar en el uso de velocidades menores.

**Artículo 154:** El control de la velocidad para diferentes tirantes de agua se efectuara con la instalación de un vertedero a la salida del desarenador. La velocidad debe comprobarse para el caudal mínimo, promedio y máximo.

**Artículo 155:** Se debe proveer dos unidades de operación alterna como mínimo.

**Artículo 156:** Para desarenadores de limpieza manual se debe incluir las facilidades necesarias (compuertas) para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades. Las dimensiones de la parte destinada a la acumulación de arena deben ser determinadas en función de la cantidad

prevista de material y la frecuencia de limpieza deseada. La frecuencia mínima de limpieza será de una vez por semana.

**Artículo 157:** Los desarenadores de limpieza hidráulica no son recomendables a menos que se diseñen facilidades adicionales para el secado de la arena (estanques o lagunas).

**Artículo 158:** Para el diseño de desarenadores del flujo helicoidal, los parámetros de diseño serán debidamente justificados ante el organismo competente.

#### *Desarenadores horizontales*

**Artículo 159:** Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0,20mm. Para el efecto se debe tratar de controlar y mantener la velocidad del flujo alrededor de 0,3 m/s con una tolerancia +20%. La tasa de aplicación deberá estar 45 y 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, debiendo verificarse para las condiciones del lugar y para el caudal máximo horario. A la salida y entrada del desarenador se preverá, a cada lado, por lo menos una longitud adicional equivalente al 25% de la longitud teórica. La relación entre el largo y la altura del agua debe ser como mínimo 25. La altura del agua y borde libre debe comprobarse para el caudal máximo horario.

**Artículo 160:** El diseño de desarenadores de flujo horizontal deberá de ser tal que en las condiciones más adversas, la partícula más ligera de arena alcance el fondo del canal antes de su extremo de salida.

**Artículo 161:** Se debe proyectar el desarenador para eliminar todas las partículas de arena que queden retenidas en un tamiz de malla 65 (diámetro de 0,21 mm).

**Artículo 162:** La longitud del canal está regida por la profundidad que requiere la velocidad de sedimentación y la sección de control, y el área de la sección transversal, lo será por el caudal y el número de canales.

**Artículo 163:** Deberá preverse cierta longitud adicional para tener en cuenta la turbulencia que se produce a la entrada y en la salida, recomendándose un mínimo aproximadamente del doble de la profundidad máxima de flujo.

**Artículo 164:** Se debe evitar la acumulación de arena en los digestores, pues esto obliga a la detención de la planta mientras se vacía y se quita la arena, que comprende una operación difícil y desagradable. Cuando se dispongan de digestores deberá incorporarse las instalaciones teóricamente ideales para la eliminación de la arena.

**Artículo 165:** Cuando se tiene un lodo sin tratar o deshidratado en filtros de vacío e incinerado, el uso de desarenadores resulta ser muy conveniente.

**Artículo 166:** Para la extracción de las arenas de los canales largos y horizontales se puede usar equipos transportadores dotados de cangilones o rascadores.

**Artículo 167:** La elevación de la arena debe ser parte integral del proceso de recogido en pequeñas plantas, en plantas grandes se pueden usar elevadores de arena de tipo: de cadena continua con cangilones o transportador de tornillo helicoidal.

**Artículo 168:** A los canales múltiples, equipados con colectores y elevadores, deberá dotársele de cintas transportadoras para recoger y transportar la arena a un lugar donde será vertida en camiones para su evacuación, elevada a depósitos de almacenamiento, o descargada en lavadores de arena antes de su distribución.

**Artículo 169:** Los depósitos de almacenamiento temporal de arena deben tener tolvas inclinadas equipadas con vibradores, en caso contrario la extracción de la arena resultara complicada.

### *Desarenadores aireados*

**Artículo 170:** Se deben proyectar tanques para proporcionar periodos de detención de 3 minutos a caudal máximo.

**Artículo 171:** La velocidad de la rotación transversal o la agitación determinan el tamaño de las partículas de peso específico dado que será eliminadas. Si la velocidad fuera demasiado grande, la arena será arrastrada fuera del tanque y, si fuese demasiado pequeña, habrá materia orgánica que se depositara junto con la arena.

**Artículo 172:** El agua residual deberá introducirse en dirección transversal al tanque. La pérdida de carga requería pero este tipo de tanque es mínima.

**Artículo 173:** Se puede dotar de medios para la eliminación de la arena mediante cucharas mordazas, que se desplacen sobre un monorriel, centrado sobre el canal de almacenamiento y recogida de arena.

**Artículo 174:** Se pueden dotar con transportadores de cadena de cangilones, que se deslicen a lo largo de los canales de almacenamiento y empujen la arena hacia un extremo de este.

### Cantidades de arena

**Artículo 175:** Las cantidades de arena varían depende del lugar, las características de la industria, el estado de las tuberías, el uso de trituradores en los procesos de producción y la proximidad y uso de las playas arenosas. Sin embargo datos de diversas fuentes indican que la cantidad de arena eliminada del agua oscila desde 2 l/100 m<sup>3</sup> de agua tratada hasta 150 l por 1000 m<sup>3</sup> tratados. Por ende se debe prever las variaciones extremas de cantidad y volumen de arena y deberá utilizarse un factor de seguridad generoso para los cálculos de almacenamiento, manipulación o eliminación de la arena

## Eliminación de la arena

**Artículo 176:** El método más corriente es la aplicación como relleno cubriéndose cuando sea preciso. Sin embargo se puede transportar y arrojar al mar, en ese caso debe lavarse antes de su eliminación.

**Artículo 177:** Puede lavarse con un tornillo o rastrillo inclinado que proporciona la necesaria agua con para la separación de las materias orgánicas y, al mismo tiempo, eleva la arena lavada hasta un punto de descarga situado por encima del nivel del agua.

**Artículo 178:** Puede lavarse utilizando rejillas usando un flujo de líquido que circule alternativamente arriba y abajo del lecho de arena, se produce así la eliminación del material orgánico.

**Artículo 179:** Si se transporta se debe disponer de camiones y por ende de los medios necesarios para cargarlo.

**Artículo 180:** Se debe prever de tolvas que permitan que la arena discurra libremente, se puede añadir aire por debajo de la arena o vibradores.

## Operación y mantenimiento

**Artículo 181:** Se recomienda que los desarenadores con un caudal inferior a 50 l/s sean limpiados manualmente; para caudales mayores de 150 l/s se recomienda una limpieza mecánica. Para caudales intermedios debe justificarse la selección realizada. En desarenadores de limpieza manual que se usen con aguas negras combinadas debe llevarse a cabo lo siguiente :

- Medición periódica del lecho de arena acumulado.
- Aislamiento del desarenador en el momento en que la arena ocupe 2/3 del volumen.
- Drenaje del agua residual en la cámara. Este se puede realizar, en algunas instalaciones, por medio de canalizaciones que devuelven el

líquido drenado al afluente o a una unidad del sistema de tratamiento adoptado.

- Remoción de la arena.
- Estimación de la cantidad de arena removida para los registros en las fichas de operación.
- Transporte del el material removido hacia el sitio de disposición.
- Lavado del desarenador para ser utilizado nuevamente.
- Analizar una muestra de la arena removida en términos de sólidos volátiles. Adopción de medidas de corrección para las muestras que presenten alto contenido de estos.
- Verificación de la cantidad de arena en las unidades subsecuentes.
- Remoción de la arena, si fuera el caso, retenida en las demás unidades de tratamiento.

Para los desarenadores de limpieza mecánica, la operación debe ser similar a los de limpieza manual, cumpliendo además con lo siguiente:

- Mantenimiento los equipos de acuerdo con el manual de instrucciones del fabricante.
- Mantenimiento del movimiento del equipo libre de obstrucciones.
- Lavado diario, con chorros de agua, de las paredes y los raspadores.
- Vaciado y revisión, por lo menos una vez por año, de las unidades. Debe ensayarse el equipo que se encuentre inmerso así como la condición de la estructura.

Con el fin de evitar excesos de materia orgánica en el material removido se recomienda lo siguiente:

- Aumentar la velocidad.
- Disminuir el tiempo de retención. Para lograr esto puede reducirse el área de la sección transversal.

Para evitar el arrastre de arena en el efluente se recomienda:

- Remover con mayor frecuencia la arena acumulada.
- Colocar en funcionamiento otro vertedero.
- Aumentar el área de la sección transversal de la cámara. Se recomienda además que el desarenador cuente con un sistema de desvío del flujo o paso directo.

#### ***Capítulo IV: Tanques separadores de grasa***

**Artículo 182:** Tiene por objeto la separación de las grasas y aceites por flotación. Su operación puede ser manual o mecánica.

**Artículo 183:** Dependiendo de la naturaleza del agua residual se puede diseñar un tanque separador de grasa o combinarse con el tanque de sedimentación primaria.

**Artículo 184:** Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

**Artículo 185:** El material recolectado comprende aceites, grasas, jabón, pedazos de madera y corcho, residuos vegetales y pieles de frutas, por ende según el tipo de industria y el proceso de elaboración que usen se debe considerar el diseño de un tanque especial.

**Artículo 186:** En promedio se aceptan concentración de hidrocarburos de 50 a 200mg/l, y dependiendo de la unidad seleccionada el diámetro del glóbulo puede variar entre  $0.0060 \text{ cm} < d < 0.015 \text{ cm}$ .

**Artículo 187:** La separación de aceite libre puede ser llevada a cabo por medio de dos métodos: Separadores de gravedad; en los cuales las gotas de aceite se elevan hacia arriba con una velocidad definida por su gravedad específica, gravedad artificial o ciclones.

**Artículo 188:** Los tipos de mas importantes de separadores de gravedad son:

- Separadores convencionales tipo API (longitudinales) y separadores circulares
- Separadores de placa, En esta clasificación se incluye los separadores de placas paralelas, PPI, los separadores de placas corrugadas, CPPI.

**Artículo 189:** Se sugiere la utilización de separadores tipo API ya que asegurar una eficiencia de un 75% o más.

**Artículo 190:** Los separadores API consisten de estanques rectangulares multicanales, los cuales disponen una zona de entrada, una zona de separación de aceite/agua y una zona de salida.

**Artículo 191:** Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. Generalmente, la limpieza debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo. Estas unidades deben ser dotadas de las Siguietes características:

- Capacidad suficiente de acumulación de grasa entre cada operación de limpieza
- Condiciones de turbulencia mínima suficiente para permitir la flotación del material.
- Dispositivos de entrada y salida convenientemente proyectados para permitir una circulación normal el afluente y el efluente.
- Distancia entre los dispositivos de entrada y salida, suficiente para retener la grasa y evitar que este material sea arrastrado con el efluente.
- Debe evitarse el contacto con insectos, roedores, etc.

## *Flotación*

**Artículo 204:** El proceso de flotación se usa en aguas residuales para remover partículas finas en suspensión y de baja densidad, usando el aire como agente de flotación. Una vez que los sólidos han sido elevados a la superficie del líquido, son removidos en una operación de desnatado. El proceso requiere un mayor grado de mecanización que los tanques convencionales de sedimentación; su uso deberá ser justificado ante el organismo competente.

**Artículo 205:** Esta forma de eliminación de materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmisible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a flotar más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

**Artículo 206:** En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06.

**Artículo 207:** En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación:

**Flotación por aire disuelto (DAF):** En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción

brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire.

**Flotación por aire inducido:** La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior.

**Artículo 208:** Los métodos para la inducción de la formación de la burbuja:

- Liberación de la presión a la que está sometido el líquido (flotación por aire disuelto).
- Aireación a presión atmosférica. (flotación por aireación).
- Saturación con aire a la presión atmosférica, seguido de la aplicación de vacío al líquido (flotación por vacío).

**Artículo 209:** En la flotación por aire disuelto el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, para luego liberar presión hasta alcanzar la atmosférica.

**Artículo 210:** Las aplicaciones de flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de residuos industriales con un alto contenido de grasas y en el espesamiento de lodos.

**Artículo 211:** En la flotación por aireación las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas.

**Artículo 212:** La aireación directa por cortos períodos de tiempo no es efectiva para conseguir que los sólidos floten.

**Artículo 213:** Estas instalaciones no suelen recomendarse para conseguir la flotación de grasas, aceites y sólidos presentes en las aguas residuales industriales, pero tiene buenos resultados en el caso de las aguas con tendencia a provocar espumas.

**Artículo 214:** Los factores más importantes a considerar en el diseño de un equipo de flotación son:

- Concentración de sólidos
- Cantidad de aire que se va a utilizar
- Velocidad ascensional de las partículas
- Carga de sólidos

**Artículo 215:** El método más comúnmente usado es flotación por aire disuelto. la eficacia de este sistema de aire disuelto depende principalmente del valor de la relación entre el volumen de aire y la masa de sólidos (a/s) necesario para obtener un determinado nivel de clarificación.

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3s_a(fP - 1)}{s_a}$$

**Ecuación 10: Flotación por aire disuelto sin recirculación**

Donde:

A/s = relación aire-sólidos, ml (aire)/mg (sólidos).

s<sub>a</sub> = solubilidad del aire, ml/l.

f = fracción de aire disuelto a la presión p.

Generalmente, f = 0,8

P = presión, atm.

= p + 101,35; p = presión manométrica, kpa.

s<sub>a</sub> = concentración de sólidos en el fango, mg/l.

**Artículo 216:** Para un sistema en el que sólo el caudal de recirculación es presurizado

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3s_a(fP - 1)R}{s_a * Q}$$

**Ecuación 11: Flotación por aire disuelto con recirculación**

Donde:

R= caudal de recirculación presurizada, m<sup>3</sup>/d.

Q = caudal de líquido mezcla, m<sup>3</sup>/d.

- El numerador representa el peso del aire y el denominador el peso de los sólidos.
- El factor 1,3 corresponde al peso específico del aire (mg/cc)
- El término (-1) del paréntesis se incluye para prever la posibilidad de que el sistema funcione a presión atmosférica.

## **TITULO IX**

### **TRATAMIENTO PRIMARIO**

#### ***Capítulo I: Generalidades***

**Artículo 217:** El objeto del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

**Artículo 218:** Los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques de floculación, sedimentación, flotación u otros que funcionan como casos especiales.

#### ***Capítulo II: Filtros intermitentes de arena***

**Artículo 219:** Se usaran cuando el terreno tiene muy baja permeabilidad o excesiva y por tanto no es posible la infiltración superficial

**Artículo 220:** Se debe sustituir el suelo natural por un suelo artificial con material adecuado para la filtración como en el caso de arenas.

**Artículo 221:** Los Lechos de arenas deben tener espesores entre 60 y 90 cm y estar sobre una capa de grava graduada, equipada de las correspondientes tuberías dragantes para la evacuación del efluente.

**Artículo 222:** Se puede construir bien enterrados o cubiertos de concreto.

**Artículo 223:** El agua a tratar se debe distribuir sobre la superficie del lecho, a través de tuberías perforadas, para no saturar el lecho de forma permanente y poder así mantener las condiciones.

**Tabla 15.**

%De eliminación de DBO

Parámetros	%eliminación
DQO	68-90
DBO5	80-99
SS	30-99
N total	23-90
P total	20-80
Coliformes Fecales	98-99,9

*Nota.* (Romero, 2000)

### **Capítulo III: Precipitación química**

**Artículo 223:** Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión.

**Artículo 224:** Se puede incluir en floculación-coagulación, sin embargo el término precipitación se utiliza mas para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble.

**Artículo 225:** Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el  $\text{Ca}^{2+}$ , dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas y muchas industriales de características parecidas.

#### ***Capítulo IV: Intercambio Iónico***

**Artículo 226:** Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

**Artículo 227:** Se recomienda usar para la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar.

**Artículo 228:** Las propiedades que rigen el proceso de intercambio iónico y que a la vez determinan sus características principales son las siguientes:

- Las resinas actúan selectivamente, de forma que pueden preferir un ión sobre otro con valores relativos de afinidad de 15 o más.
- La reacción de intercambio iónico es reversible, es decir, puede avanzar en los dos sentidos.
- En la reacción se mantiene la electroneutralidad.

- Hay sustancias naturales (zeolitas) que tienen capacidad de intercambio, pero en las industrias se utilizan resinas poliméricas de fabricación sintética con muy claras ventajas de uso.

**Artículo 229:** es este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo.

### **Capítulo V: Mezcladores**

**Artículo 224:** El mezclado de un líquido de varias formas: 1) en resaltos hidráulicos en canales; 2) en tubos tipo Venturi; 3) en conducciones; 4) en bombas; 5) en recipientes con ayuda de medios mecánicos.

**Artículo 225:** Las paletas deben de girar por lo general lentamente ya que una gran superficie de las mismas se halla expuesta al líquido.

**Artículo 226:** La producción de un buen floculo requiere generalmente un tiempo de detención de 15 a 30 minutos. Por otro lado, un tiempo de detención de 2 a 5 minutos es más que suficiente para el mezclado por agitación intensiva de productos químicos en depósitos equipados con turbinas mezcladores con hélices.

**Artículo 227:** La producción de vórtices o remolinos de masa en los líquidos debe evitarse colocando bordes de 10 cm de espesor por toda la altura del envase.

**Artículo 228:** El proceso de mezcla generalmente tiene lugar en régimen turbulento donde predominan las fuerzas de inercia. Por regla cuanto más alta sea la velocidad y mayor sea la turbulencia más eficaz será el mezclado.

**Artículo 229:** Las siguientes relaciones matemáticas expresan el cómputo de la energía necesaria en condiciones laminares y turbulentas:

$$\text{Laminar: } P = \frac{k}{g_e} \mu n^2 D^3$$

**Ecuación 13. Ecuación de la energía para flujo laminar**

$$\text{Turbulento: } P = \frac{k}{ge} \rho n^3 D^5$$

**Ecuación 14. Ecuación de la energía para flujo turbulento**

Donde P: energía necesaria, en kgm/s

k: constante

ge: aceleración de gravedad, 9.8 m/s<sup>2</sup>

μ: Viscosidad dinámica del fluido, en kg/s.m

ρ: Densidad del fluido, en kg/m<sup>3</sup>

D: diámetro del impulsor en m

n: revoluciones por segundo (rps)

**Tabla 16**

Valores de k desarrollados por Rushton

Impulsor	Laminar	Turbulento
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41,00	0,32
Hélice, paso de dos, 3 palas	43,50	1,00
Turbina, 6 palas planas	71,00	6,30
Turbina, 6 palas curvadas	70,00	4,80
Turbina ventilador, 6 palas	70,00	1,65
Turbina, 6 palas en punta de flecha	71,00	4,00
Paleta plana, 6 palas	36,50	1,70
Turbina cerrada, 2 palas	97,50	1,08
Turbina cerrada con estator (sin deflectores)	172,50	1,12

Nota. (Metcalf-Eddy, 1977)

**Artículo 230:** Los mezcladores se deben seleccionar a partir de los resultados de los ensayos en plantas pilotos en laboratorio o por datos suministrados por el fabricante.

## Mezcladores mecánicos

**Artículo 231:** Se requiere una turbulencia elevada para lograr una mezcla homogénea de la sustancia química agregada con el agua

**Artículo 232:** El movimiento de rotación producido por las paletas, deben generar fuertes corrientes axiales, que dispersen completamente la sustancia química agregada

**Artículo 233:** Cuando la velocidad de rotación alcance valores entre 400 y 18000 revoluciones por minuto (rpm) se debe generar un movimiento de rotación alrededor del eje denominado (Vórtice)

**Artículo 234:** El eje Vórtice debe producir una disminución de la velocidad del fluido

- si la hélice es sumergida significativamente la misma masa de agua evita la formación del Vórtice

**Artículo 235:** Se pueden incluir en el diseño de mezcladores mecánicos tabiques verticales para romper la velocidad del agua e introducir corrientes cruzadas que aumenten la turbulencia del flujo.

$$N_p = \frac{P \times g}{\rho \times n^3 \times D^5}$$

**Ecuación 15. Del número de inercia caracterizada por el número de potencia**

$$N_R = \frac{D^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

**Ecuación 16. Ecuación del de número de Reynolds**

$$N_F = \frac{D \times n^2}{g}$$

**Ecuación 17. Ecuación del de número de Froude**

En donde:

- P = potencia en g-Cm/seg
- n = numero de revoluciones rev/seg

- $D$  = diámetro del impulsor, en cm
- $\rho$  = densidad del flujo, en g/ cm
- $\mu$  = viscosidad absoluta, en g-masa/cm\*seg
- $g$  = aceleración de gravedad, en cm/seg\*seg

Si se evita el Vórtice:

$$N_p = K \times (N_R)^P$$

**Ecuación 18. Ecuación usada cuando se evita el Vórtice**

Donde:

- $K$  = constante que depende de la forma del impulsor, tamaño y número de pantallas
- $P$  = exponente que depende del régimen del fluido

Cuando el numero de Reynolds es suficientemente grande (digamos mayor a  $10^5$ ) el flujo es turbulento y si se evita el vórtice,  $P = 0$

$$N_p = \frac{P \times g}{\rho \times n^3 \times D^5}$$

**Ecuación 19. Expresión usada para Reynolds grande y se evita el vórtice.**

$$P = \frac{K}{g} \times \rho \times n^3 \times D^5$$

**Ecuación 20. Calculo de exponente**

Pada calcular  $K$  se puede utilizar el siguiente grafico

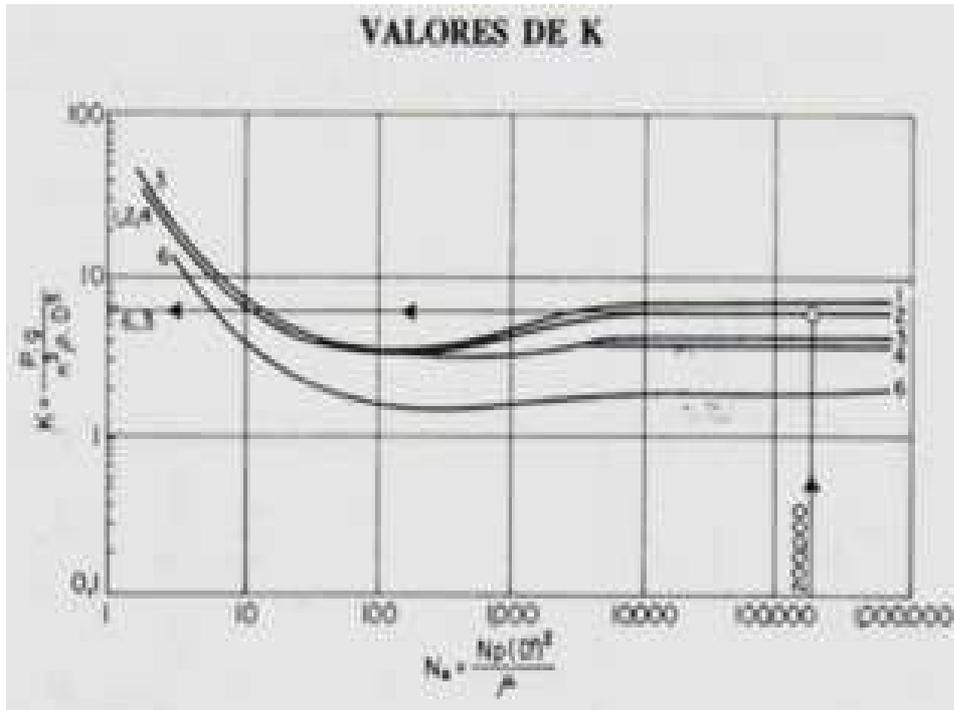
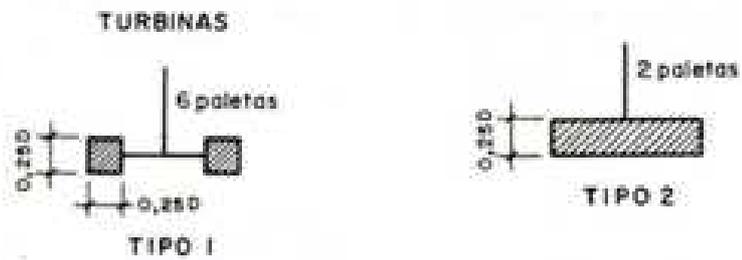
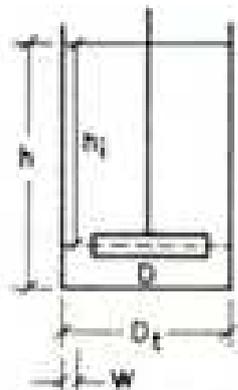


Figura 58. Cálculo de K. Nota: (Mijares, 1967)



TIPO IMPULSOR	$D_t/D$	$h/D$	$h_1/D$	TABIQUES		CURVA Nº
				Nº	W/D	
VER TIPO 1	3	2,7-3,9	0,75-1,5	4	0,17	1
" Nº 1	3	↓	↓	4	0,10	2
" Nº 1	3	↓	↓	4	0,04	4
IGUAL A Nº 1 DOS PALETAS CURVADAS	3	↓	↓	4	0,10	3
VER TIPO 2	3	↓	↓	4	0,10	6



**D = DIAMETRO IMPULSOR**  
**D<sub>t</sub> = DIAMETRO ESTANQUE**  
**W = ANCHO TABIQUE PRINCIPAL**  
**h<sub>i</sub> = ALTURA IMPULSOR**  
**h = PROFUNDIDAD DEL AGUA**

*Figura 59. Curva para calcular el valor de K. Nota: (Mijares, 1967)*

**Artículo 236:** Para el cálculo del diámetro del impulsor:

Diámetro del impulsor = 1/3 Diámetro del tanque

**Ecuación 11.** Diámetro del impulsor

**Artículo 237:** Para el cálculo de la potencia se usa la siguiente ecuación:

Calculo de la potencia =  $k/ge \times n^3 \times D^5$

**Ecuación 12.** Calculo de la potencia

K = constante especifica depende de la forma del impulsor

D = densidad del liquido a mezclar  $g / cm^3$

d = diámetro del impulsor en cm

n = rev/ seg

ge = aceleración de gravedad  $cm/ seg^2$

**Artículo 238:** El número de Reynolds dependerá:

$$NR = D^2 \times n \times d / \nu_a$$

**Ecuación 13.** Número de Reynolds

D = Diámetro del impulsor en cm

n = rev/ seg

d = Densidad del liquido a mezclar g / cm<sup>3</sup>

$\nu_a$  = Viscosidad absoluta en g-masa / cm x seg

**Artículo 239:** El gradiente de velocidad viene dado por:

$$G = \text{Pot} / V \times \nu_a$$

**Ecuación 14.** Gradiente de velocidad.

G = Gradiente de velocidad

Pot = Potencia en Watt

V = Volumen del tanque en m<sup>3</sup>

$\nu_a$  = Viscosidad absoluta en g-masa / cm x seg

## **Capítulo VI: Floculación**

**Artículo 240:** De acuerdo con las características de receptor y de las descargas, existen aguas que luego de aplicar los tratamientos de los capítulos

anteriores, se le necesita aplicar una determinada intensidad de tratamiento a los líquidos residuales que se descargan, al límite de lograr una reducción más significativa, entre otros para de la demanda bioquímica de oxígeno.

**Artículo 241:** Los tratamientos primarios descritos anteriormente se basan una separación física de los sólidos suspendidos con la ayuda de sedimentación-flotación, por ende no es posible obtener una remoción de DBO mayor, se puede esperar de un 35 a 40 por 100, dependiendo de las características del despojo del líquido y de las unidades de clarificación.

**Artículo 242:** La coagulación-floculación es parte del proceso físico-químico de tratamiento que tiene por objeto retirar el material contaminante del agua que consta de cuatro procesos o etapas: mezclado, coagulación, floculación y sedimentación.

**Artículo 243:** En el mezclado se debe buscar la distribución uniforme y rápida del coagulante en el agua antes de que se verifique reacción química en proporción apreciable.

**Artículo 244:** Para que la coagulación sea óptima, es necesario ajustar el pH antes de que comience a formarse el floculo o precipitado. ya que el tiempo de coagulación es muy corto.

**Artículo 245:** Existen distintos tipos de coagulantes que se usan en distintas porciones, la manera obligatoria de saber cómo escoger que coagulante a añadir es la prueba de jarras. Sin embargo se señalan distintos tipos y cantidades de coagulantes:

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación:

**Artículo 246:** La electrocoagulación es otra forma de llevar a cabo el proceso, ampliamente utilizada en el caso de tratamiento de aguas industriales. Consiste en la formación de los reactivos *in situ* mediante la utilización de una célula electrolítica. El ánodo suele ser de aluminio, formándose cationes de

$Al^{3+}$ , mientras en el cátodo se genera  $H_2$ , siendo útil si la separación posterior de la materia es por flotación.

**Artículo 247:** En la eficacia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el pH y otras características físico-químicas del agua, así como una adecuada energía de agitación rápida para conseguir una apropiada dispersión del coagulante y proporcionar las necesarias colisiones entre las partículas para conseguir una óptima coagulación.

**Artículo 248:** Para el proceso que continúa se debe realizar un tanque de mezcla rápida el cual será diseñado siguiendo los parámetros de mezcladores descritos anteriormente.

**Artículo 249:** A continuación de la etapa de coagulación tiene lugar un segundo proceso llamado floculación, este tiene lugar tras someter a los microfloculos a una agitación lenta que permite la unión de estos en agregados mayores o flóculos, visibles ya a simple vista y con la suficiente cohesión y densidad para someterlos a la siguiente etapa de sedimentación. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los flóculos ya formados. Los flóculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial. Para el diseño del tanque de mezcla lenta se deben seguir los parámetros de mezcladores descritos anteriormente.

**Artículo 250:** Posteriormente luego de la mezcla debe existir una fase de sedimentación o flotación que debe diseñarse siguiendo los parámetros descritos en la sección anterior.

**Artículo 251:** Para que el proceso sea el adecuado se debe hacer las pruebas de jarras. Esta prueba es de uso obligatorio para diseñar el proceso de floculación-coagulación.

**Artículo 252:** Se debe tener cuidado a las variaciones del pH tanto que en el proceso como a su salida, pues el mismo se da a pH adecuados y a su vez las variaciones del mismo pueden afectar los procesos siguientes, por ello se

debe instalar un medidor de pH a la entrada del proceso y a la salida del mismo.

**Artículo 253:** En caso de falla del sistema por coagulación no se le debe agregar más coagulante, se debe comprobar las propiedades del agua y repetir la prueba de jarras para comprobar si las dosificaciones son correctas.

**Artículo 254:** Existen variantes del sistema en el cual se realiza todo el proceso en un solo tanque, se deja libre el diseño de este sistema siempre que el ente encargado compruebe el funcionamiento del mismo.

**Artículo 255:** Para el cálculo del flocladores se tiene:

$$G = \left( \frac{Cd * A * v^3}{2 * n * V} \right)^{1/2}$$

#### **Ecuación 15. Ecuación de gradiente de velocidad**

Donde: Cd = coeficiente de arrastre

A = Área de paletas (m)

v = velocidad media de las paletas (m/s)

n = viscosidad cinemática del liquido (m<sup>2</sup>/s)

V = Volumen útil del tanque de floclación (m<sup>3</sup>)

G = Gradiente de velocidad (s<sup>-1</sup>)

**Artículo 256:** El área de la paleta viene dado por:

$$A = \frac{2 * G * n * V}{Cd * v^3}$$

#### **Ecuación 16. Áreas de paletas**

**Artículo 257:** El diámetro medio de giro será:

$$D \text{ medio} = \frac{60 * v}{N * 3.14}$$

**Ecuación 17.** Diámetro medio de giro

Donde:  $v$  = velocidad media de las paletas (m/s)

$N$  = revoluciones por minutos (RPM)

**Artículo 258:** Para el cálculo de la potencia de accionamiento se sabe que:

$$Pot = \frac{G^2 * v_a * V}{g}$$

**Ecuación 18.** Potencia de accionamiento

Donde:  $G$  = Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

$v_a$  = velocidad absoluta

$V$  = Volumen ( $m^3$ )

$g$  = aceleración de gravedad ( $m/s^2$ )

**Capítulo VII: Sedimentadores**

**Artículo 259:** El mismo se clasifica según su funcionamiento como:

a) Sedimentadores comunes, que verifican en ellos solo la sedimentación; lodos removidos periódica o continuamente, b) Tanque Imhoff y c) Tanque séptico. Según la forma en planta: a) Rectangulares: fondo plano, fondo inclinado, fondo con tolvas para lodos, b) circulares; fondo plano, fondo con tolvas para lodos. Según sus sistemas de remoción a) Mecanizados y b) Simples, generalmente remoción periódica, hecha por presión hidráulica.

**Artículo 260:** El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 20 años.

**Artículo 261:** El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.

**Artículo 262:** El periodo de operación es de 24 horas por día.

**Artículo 263:** El tiempo de retención será entre (2 – 6) horas.

**Artículo 264:** La carga superficial será entre los valores de (24- 41) m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

**Artículo 265:** La profundidad del sedimentador será entre (1,5 – 4,5) m.

**Artículo 266:** La relación de las dimensiones de largo y ancho L/A será entre los valores de 4 - 20.(Mínimo 3)

**Artículo 267:** La relación de las dimensiones de largo y profundidad L/H será entre los valores de 4- 20.

**Artículo 268:** El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

**Artículo 269:** La velocidad en los conductos de trasvase no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.

**Artículo 270:** Se debe ensanchar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

**Artículo 271:** La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.

**Artículo 272:** Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.

**Artículo 273:** El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.

**Artículo 274:** Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

#### **Ecuación 21. Relación entre velocidad del flujo y dimensiones**

**Artículo 275:** Para el caso de tanques rectangulares, la localización de los rebosaderos debe tenerse muy en cuenta en el diseño con el fin de evitar que cantidades considerables de partículas suspendidas salgan del sedimentador por estos orificios. Con este propósito se recomienda colocar éstos dispositivos fuera de la región de influencia de las corrientes de densidad

o instalar pantallas especiales para evitar el impacto de dichas corrientes. También se recomienda reducir la velocidad horizontal a 2.m/s a lo largo de los clarificadores.

**Artículo 276:** Para el caso de tanques circulares se recomienda: colocar pantallas circulares y horizontales debajo de la estructura de alimentación de los tanques alimentados por el centro. Se recomienda que el radio de las pantallas esté entre 10 y 20 % por encima del radio de la estructura de alimentación. Para el caso de tanques rectangulares, se recomienda la colocación de pantallas con una extensión entre 150 y 300 mm por debajo de los puntos de entrada que se hallan debajo de la superficie del agua.

**Artículo 277:** Además, debe evitarse una acumulación excesiva de lodos ya que estos pueden descomponerse y crear gases y olores indeseables. Se debe quitar la capa de natas que se forma en la superficie del agua, por lo menos dos veces al día, y remover de inmediato el lodo flotante. En caso que un tanque se ponga fuera de servicio por uno o dos días, se debe drenar el contenido del tanque, y limpiar luego el interior. Si el tanque sale del servicio de lodo permanente, se debe llenar el tanque con agua químicamente tratada (típicamente con cloro) para prevenir el crecimiento de algas o bacterias. De acuerdo con los resultados del estudio de impacto ambiental debe cubrirse el tanque, recoger los olores y tratarlos, para evitar los efectos sobre la comunidad adyacente, si así lo exigen.

**Artículo 278:** Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Plan de limpieza.
- Control de olores.
- Operación en condiciones de caudal mínimo y máximo.
- Manejo de lodos.
- Prevención de cortocircuitos.
- Arranque.
- Control de lodos flotantes.

**Artículo 279:** Los tanques de sedimentación pequeños, de diámetro o lado no mayor deben ser proyectados sin equipos mecánicos. La forma puede ser rectangular, circular o cuadrado; los rectangulares podrán tener varias tolvas y los circulares o cuadrados una tolva central, como es en caso de los sedimentadores tipo Dormund. La inclinación de las paredes de las tolvas de lodos será de por lo menos 60 grados con respecto a la horizontal. Los parámetros de diseño son similares a los sedimentadores con equipos mecánicos.

**Artículo 280:** Los tanques de sedimentación mayores usarán equipos mecánicos para el barrido de lodos y transporte a los procesos de tratamiento de lodos.

**Artículo 281:** Los parámetros de diseño del tanque de sedimentación primaria y sus eficiencias deben ser preferiblemente determinadas experimentalmente. Cuando se diseñen tanques convencionales de sedimentación primaria sin datos experimentales se usaran los siguientes criterios de diseño:

- Los canales de repartición y entrada a los tanques deben ser diseñados para el caudal máximo horario.
- Los requisitos de área deben determinarse basando cargas superficiales entre 24-60 M/D basado en el caudal medio de diseño, lo cual equivale a una velocidad de sedimentación de 1,00 a 2,5 m/h.
- El periodo de retención nominal será de 1,5 a 2,5 horas (recomendable <2 horas), basado en el caudal máximo diario de diseño.
- La profundidad es el producto de la carga superficial y el periodo de retención, esta debe estar entre 2 y 3,5 m.
- La relación entre largo/ancho debe estar entre 2 y 10 metros (recomendable 4 metros) y la relación largo/profundidad entre 5 y 30 metros.

- La carga hidráulica en los vertederos será de 125 a 500 m<sup>3</sup>/d por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal máximo diario de diseño.

- La eficiencia de remoción del proceso de sedimentación puede estimarse de acuerdo con la tabla siguiente:

**Tabla 17**

Eficiencia de remoción de DBO en el proceso de sedimentación

PERIODO DE RETENCION NOMINAL (HORAS)	DBO 100 A 200 mg/l		DBO 200 A 300 mg/l	
	DBO	SS*	DBO	SS*
1,5	30	50	32	56
2,0	33	53	36	60
3,0	37	58	40	64
4,0	40	60	42	66

SS\* = sólidos en suspensión totales.

*Nota.* Altuve y Ramirez (2011)

- El volumen de lodos primarios debe calcularse para el final del período de diseño (con el caudal medio) y evaluarse para cada 5 años de operación. La remoción de sólidos del proceso se obtendrá de la siguiente tabla:

**Tabla 18**

Remoción de sólidos en el proceso

TIPO DE LODO PRIMARIO	GRAVEDAD ESPECIFICA	CONCENTRACION DE SÓLIDOS	
		RANG	% RECOMENDADO
<b>Con alcantarillado sanitario</b>	1,03	4 - 12	6,0
<b>Con lodo activado de exceso</b>	1,03	3 - 10	4,0

*Nota.* Altuve y Ramirez (2011)

• El retiro de los lodos del sedimentador debe efectuarse en forma cíclica e idealmente por gravedad. Donde no se disponga de carga hidráulica se debe retirar por bombeo. Para el lodo primario se recomienda:

- Bombas rotativas de desplazamiento positivo.
- Bombas de diafragma.
- Bombas de pistón.
- Bombas centrifugas con impulsor abierto.
- Sistemas de airlift
- Carga hidrostática

Para una adecuado funcionamiento de la planta, es recomendable instalar motores de velocidad variable que funciones cada 0,5 a 4 horas. El sistema de conducción de lodo podrá incluir, de ser necesario, un dispositivo para medir el caudal.

• El volumen de la tolva de lodos debe ser verificado para el almacenamiento de lodos de dos ciclos consecutivos. La velocidad en la tubería de salida del lodo primario debe por lo menos 0,9 m/s.

**Artículo 282:** La superficie de sedimentación viene dada por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Q}{V}$$

**Ecuación 19.** Superficie de sedimentación

Donde: S = superficie de sedimentación (m<sup>2</sup>)

Q = caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

V = Velocidad ascensional (m/h)

Valores usuales de parámetros:

**Tabla 19**

Valores de velocidad ascensional a caudal medio

Sedimentación primaria	Velocidad ascensional a caudal medio		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Sedimentadores de flujo vertical	1,00 m/h	1,50 m/h	2,00 m/h
Sedimentadores de flujo horizontal	0,80 m/h	1,30 m/h	1,80 m/h

Nota. (Romero, 2000)

**Tabla 20**

Velocidad ascensional a caudal máximo

Sedimentación primaria	Velocidad ascensional a caudal máximo		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Sedimentadores de flujo vertical	2,00 m/h	2,50 m/h	3,00 m/h
Sedimentadores de flujo horizontal	1,80 m/h	2,20 m/h	2,60 m/h

Nota. (Romero, 2000)

**Artículo 283:** El volumen de sedimentación primaria viene dado por:

$$V = Q * T_r$$

**Ecuación 20.** Cálculo del volumen de sedimentación

Donde: V = volumen de sedimentación (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

T<sub>r</sub> = Tiempo en retención (h)

**Artículo 284:** El tiempo de retención dependerá de:

El parámetro principal es el tiempo de retención pudiendo ser para el caudal máximo y para el caudal medio

**Tabla 21**

Tiempo de retención para caudal medio y máximo.

<b>Sedimentación primaria</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor típico</b>	<b>Valor Máximo</b>
<b>Tiempo de retención para el caudal medio</b>	1,5 h	2,00 h	3,00 h
<b>Tiempo de retención para el caudal máximo</b>	1,00 h	1,5 h	2,00 h

Cuando la sedimentación primaria es usada como tratamiento único se aumentaran las cifras anteriores 30%

*Nota.* Altuve y Ramirez (2011)

**Artículo 285:** Un sedimentador circular de flujo vertical:

Donde:  $h$  = altura del decantador;  $h \leq 2$  m

$\phi$  = diámetro del decantador;  $\phi < 40$  m

Y un sedimentadores rectangulares de flujo vertical:

Donde:  $L$  = longitud del decantador

$h$  = altura útil del decantador

$b$  = Ancho del decantador

Pueden usarse las siguientes relaciones:

**Tabla 22**

Valores para el diseño de sedimentador

Sedimentación primaria	valor mínimo	Valor típico	Valor Máximo
L	5	-	90
L/h	5	15	40
L/b	1,5	4,5	7,5
h	1,5	3	3

Nota. Altuve y Ramirez (2011)

**Tabla 23**

Relación entre variables del sedimentador

L = longitud	B = anchura	
L/B	L/H	B/H
De 1,5 a 7,5	De 4,2 a 25	-
4,27	11,5	-
De 3 a 5	-	-
-	De 6 a 20	De 2 a 6
-	De 20 a 35	-

Nota. Altuve y Ramirez (2011)

- Para tanteos según Huisman:

$$H = \frac{1}{12} L^{0,8}$$

**Ecuación 21.** Calculo de H según Huisman

$$B = \frac{1}{8,5} L^{14}$$

**Ecuación 22.** Calculo de B por Huisman

**Artículo 286:** Las dimensiones de la zona de entrada

Decantadores circulares de flujo vertical siendo para el cilindro central de entrada

$\phi_1$  = diámetro del cilindro

$h_1$  = altura del cilindro desde el borde superior del decantador

$\phi$  = diámetro del decantador

$h$  = altura del decantador

Pueden tomarse las siguientes relaciones

**Tabla 24**

Tabla de relaciones en sedimentadores

$\phi_1 / \phi$	Valor mínimo	Valor típico	Valor Máximo
	0,05	0,1	0,2
$h_1 / h$	0,25	0,40	0,55

Nota. Altuve y Ramirez (2011)

Sedimentadores rectangulares de flujo horizontal

Donde:  $\Delta h$  = pérdida de carga ocasionada por el sistema de entrada al decantador;  $\Delta h$  puede tomarse de 0,20 a 0,30 m

- Vertedero de salida:

$$L = \frac{Q}{V}$$

**Ecuación 23.** Longitud del vertedero de salida

Donde: L = longitud necesaria del vertedero (m)

Q = Caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

V = Carga de salida por el vertedero (m<sup>3</sup>/h/m)

**Tabla 25**

Valores típicos de caudal

<b>Sedimentadores primarios</b>	<b>valor</b> $\frac{m^3/h}{m}$	<b>mínimo</b>	<b>Valor típico</b> $\frac{m^3/h}{m}$	<b>Valor Máximo</b> $\frac{m^3/h}{m}$
<b>Sedimentadores circulares</b>		5	9,5	18
<b>Sedimentadores rectangulares</b>		5	10	26
<b>Sedimentadores secundarios</b>				
<b>circulares</b>		2	5	10
<b>rectangulares</b>		2	6,5	12

Nota. Altuve y Ramirez (2011)

**Artículo 287:** El mecanismo de barrido de lodos de tanques rectangulares tendrá una velocidad entre 0,6 y 1,2 m/min.

**Artículo 288:** La características de los tanques circulares de sedimentación serán las siguientes:

- Profundidad: de 3 a 5 m.

- Diámetro: de 3,6 a 4,5 m.
- Pendiente de fondo: de 6% a 16% (recomendable de 8%)

**Artículo 289:** El mecanismo de barrido de lodos de los tanques circulares tendrá una velocidad periférica tangencial comprendida entre 1,5 y 2,4 m/min o una velocidad de rotación de 1 a 3 revoluciones por hora, siendo 2 m/h un valor recomendable.

**Artículo 290:** El sistema de entrada al tanque debe garantizar la distribución uniforme del líquido a través de la sección transversal y debe diseñarse en forma tal que se eviten cortocircuitos.

**Artículo 291:** La carga hidráulica en los vertederos de salida será de 125 a 500 m<sup>3</sup>/d por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal máximo diario de diseño.

**Artículo 292:** La pendiente mínima de la tolva de lodos será 1,7 vertical a 1,0 horizontal, cuando la tolva sea demasiado ancha, se deberá proveer un barredor transversal desde el extremo hasta el punto de extracción de lodos.

Las entradas deben diseñarse para dispersar la corriente de alimentación, difundir homogéneamente el flujo por todo el tanque y evitar los cortocircuitos. Las entradas pueden ser similares a vertederos, pero lo que más se usa es un canal de compuertas espaciadas. Se recomienda una distancia mínima de 3.0 m entre la entrada y la salida y una velocidad de entrada de 0.3 m/s. Además, se recomiendan situar las estructuras de disipación a una distancia entre 0.6 y 0.9 m de la entrada y sumergidos unos 0.45 a 0.60 m según la profundidad del tanque.

Deben usarse deflectores de espuma y materiales flotantes en la salida del tanque en caso de que no se cuente con un equipo de limpieza mecánico. El diseño de los vertederos en la salida depende del caso específico y del criterio del diseñador, pero teniendo en cuenta que la carga del vertedero para plantas con capacidad menor de 4,000 m<sup>3</sup>/día no debe ser mayor de 133 m<sup>3</sup>/m/día. Para plantas mayores puede ser hasta de 500 m<sup>3</sup>/m/día.

### *Tolvas de lodo*

**Artículo 293:** Las tolvas de lodos deben tener una capacidad mínima de almacenamiento en caso de descarga periódica: 12 horas.

**Artículo 294:** La inclinación de las paredes debe ser 60° mínimo.

**Artículo 295:** La tubería de remoción de lodos debe tener un diámetro no menos de 0.10 m (4")

**Artículo 296:** La carga hidrostática mínima es de 1,5m.

**Artículo 297:** La pendiente de la tubería: 3%.

**Artículo 298:** Ancho de la base inferior de la tolva de lodos: 0,9 m o menor.

**Artículo 299:** Pendiente del fondo de los sedimentadores mecanizados: 1% aproximadamente.

**Artículo 300:** La descarga el fondo por lo general requiere de un diámetro grande para que la descarga se realice en un tiempo razonable. Para ello se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{A}{4800 \times t} \times \sqrt{h}$$

#### **Ecuación 22. Cálculo del fondo área de descarga del fondo**

A: Área del sedimentador en m<sup>2</sup>

T: Tiempo de descarga en horas.

H: Altura del agua sobre el eje de la tubería en m.

S: Área necesaria para la tubería en m<sup>2</sup>

### *Medidor y repartidor de caudal*

**Artículo 301:** Se deben usar dispositivos de entrada como vertederos simples, entrada simple o múltiple con cortina, cortina perforada, canaletas múltiples, central: sedimentadores circulares o cuadrados otros de tipo especial.

**Artículo 302:** El medidor de caudal debe incluir un pozo de registro para la instalación de un limnógrafo. Este mecanismo debe estar instalado en una caseta con apropiadas medidas de seguridad.

**Artículo 303:** Las estructuras de repartición de caudal deben permitir la distribución del caudal considerando todas sus variaciones, en proporción a las áreas de las unidades primarias, en el caso de lagunas de estabilización. En general estas facilidades no deben permitir la acumulación de arena.

**Artículo 304:** Los repartidores pueden ser de los siguientes tipos:

- Cámara de repartición de entrada central y flujo ascendente, con vertedero circular o cuadrado e instalación de compuertas manuales, durante condiciones de mantenimiento correctivo.
- Repartidor con tabiques en régimen crítico, el mismo que se ubicara en el canal.

**Artículo 305:** Otros debidamente justificados ante el organismo competente.

**Artículo 306:** Para las instalaciones antes indicadas el diseño se efectuara para las condiciones de caudal máximo horario, debiendo comprobarse su funcionamiento para condiciones de caudal mínimo al inicio de la operación.

### ***Digestión de lodos proveniente de procesos primarios***

**Artículo 307:** Se debe remover la materia orgánica en materia orgánica o inorgánica más estable o inherente.

**Artículo 308:** Se debe conocer o estimar el volumen de lodo producido en los tanques de sedimentación primarios, de modo que el proyecto y dimensionamiento de los tanques, junto con las instalaciones de tratamiento y eliminación del lodo se puedan llevar a cabo correctamente.

**Artículo 309:** La cantidad de lodos a extraer de la sedimentación primaria viene dada por la cantidad de sólidos en suspensión eliminada en el proceso.

Si se considera la densidad de lodo igual a la del agua, dada su escasa diferencia, el volumen de lodos primarios producidos puede ser aproximado por la siguiente expresión:

$$V = SS / (10 \times C)$$

**Ecuación 23. Cálculo de volumen de lodos producidos**

Donde:

V: Volumen diario de lodos primarios en m<sup>3</sup>/d

SS: cantidad de sólidos en suspensión del lodo primario en Kg/d

C: Concentración del lodo primario

La concentración del lodo primario suele ser la que se adjunta a continuación:

**Tabla 26.**

Concentración de lodo

Lodos Primarios	Concentración %		Valor máximo
	Valor mínimo	Valor típico	
Decantadores de succión	1	1,5	2
Decantadores en tanques	3	5	7

*Nota:* (Colombia, 2000)

**Artículo 310:** En la producción total de lodos se consideran al menos tres sumandos :

- Peso total de lodos producidos por eliminación o decantación de sólidos en suspensión (Total de sólidos en suspensión de entrada por rendimiento previsto en decantación)
- El peso de lodos producidos por precipitación química (Habrà de calcularse en función de los elementos que se hayan pretendido eliminar(fósforo por ejemplo)
- El retorno de lodos biológicos en exceso (Se obtendrán en el estudio del biológico).

**Artículo 311:** Para el dimensionamiento de los tanques de lodos, el volumen (m<sup>3</sup>) necesario vendrá dado por el cociente entre el caudal medio de lodos producidos (m<sup>3</sup>/h) y el tiempo de retención en los tanques (h).

- Los valores usuales del tiempo de retención en los tanques pueden tomarse de la tabla:

**Tabla 27**

Tiempo de retención de lodos

Lodos Primarios	Tiempo de retención		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Sedimentador circular sin rasquetas	0,5	2	5
Sedimentador circular con rasquetas	4	6	8
Sedimentador rectangular	4	10	24

*Nota:* (Colombia, 2000)

- Los sedimentadores circulares con rasquetas de espesado se pueden alcanzar concentraciones de lodos de hasta el 8%.

**Artículo 312:** A pesar de los tiempos de retención para el dimensionamiento de pocetas, lo normal suele ser que las puertas de lodos se realicen continuamente o mediante temporizaciones cortas.

**Artículo 313:** Se removerá el volumen de agua en los lodos primarios para la economía de los procesos

- Los procesos más usuales en el tratamiento de lodos primarios: espesamiento, secado de lodos o deshidratación.

- Como procesos complementarios se pueden mencionar: purificación por lavado, el secado de lodos por calentamiento.

**Artículo 314:** El espesamiento debe concentrar los sólidos diluidos para hacerlos más densos, disminuyendo al máximo su contenido de agua.

**Artículo 315:** El tanque de espesamiento debe de estar equipado con paletas verticales y estas deben tener un movimiento lento por medio del cual se mejora la eficiencia del proceso, con esto se obtiene una concentración de 10% a 15%.

**Artículo 316:** El volumen de agua que se extrae del tanque de espesamiento regresará a la entrada de la planta.

**Artículo 317:** El secado de lodos o deshidratación no se debe hacer directamente en el suelo para evitar focos de contaminación en el medio circundante existen varios métodos para la deshidratación y secado de lodos entre los más usuales están: lechos de secado, filtración por vacío, filtros prensa.

**Artículo 318:** Los lodos generados en los procesos biológicos se secarán en lechos de arena y grava por acción ambiental y percolación hacia el fondo y el filtrado proveniente de los lechos regresará al sistema para ser tratado de nuevo.

**Artículo 319:** Los lechos de secados serán de forma rectangular preferiblemente y estarán delimitados perimetralmente por muros con espesores de 0.29 a 0.40 metros y con una altura de 1 metro mínima.

**Artículo 320:** Los lechos de secados serán cubiertos en climas lluviosos o fríos y descubiertos en zonas poco lluviosas o con temperaturas medias.

**Artículo 321:** El lodo debe llegar a los lechos de secados por gravedad o por bombeo.

**Artículo 322:** Los lodos serán vertidos a una superficie acondicionada, donde son expuestos al ambiente, permitiendo deshidratación y pérdida de agua contenida en las partículas sólidas.

**Artículo 323:** Se contarán con dos o más lechos de secado para facilitar el mantenimiento y la operación del sistema.

**Artículo 324:** Esta estructura, construida habitualmente de mampostería, concreto o de tierra (con diques), debe tener una profundidad útil de 50 a 60 cm. y un ancho entre 3 y 6 m. Está compuesta de una capa de ladrillos colocados sobre el medio filtrante, que está constituido por arena fina, una capa inferior de grava y drenes de tubos de 100 mm de diámetro

**Artículo 325:** Se deberá proveer de una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y losa de fondo, para impedir la destrucción del lecho.

**Artículo 326:** Para el diseño de los lechos de secado se tiene:

- **Carga anual de sólidos:**

$$C.A = \text{Producción de Lodos} \times 365 \text{ d/año}$$

**Ecuación 24.** Carga anual de sólidos

- **Área de lechos:**

$$A = C.A / C.S \quad A = \text{Kg/año} / \text{Kg/ m}^2\text{-año}$$

**Ecuación 25.** Área de los lechos

Donde: C.S. = Carga específica de sólidos entre 49 y 196 Kg/m<sup>2</sup>-año para lechos descubiertos.

C.S. = Carga específica de sólidos entre 58 y 196 Kg/m<sup>2</sup>-año para lechos cubiertos con lámina traslucida.

C.A. = Carga anual de sólidos

Área de Lechos = Kg/año / Kg/ m<sup>2</sup>-año

$$A = \text{m}^2$$

**Artículo 327:** La filtración por vacío es un método mecánico usado para reducir la humedad de los lodos ya tratados o primarios a los que no les fue necesario hacerle un tratamiento adicional.

Es un cilindro hueco rotativo que se divide en compartimentos cada uno de estos compartimientos están sujetos a una succión y presión.

**Artículo 328:** Los filtros prensa son métodos mecánicos usados para reducir la humedad de los lodos ya tratados o primarios a los que no les fue necesario hacerle un tratamiento adicional.

**Artículo 329:** La prensa está constituida por cierta cantidad de placas de metal acanaladas de unos 75 centímetros de diámetros, con un orificio en el centro.

**Artículo 330:** La prensa logra forzar a lodo a presión al espacio comprimido entre dos placas, extrayendo el agua del lodo a través de la tela porosa pasando por los canales de la prensa.

**Artículo 331:** La prensa debe estar un tiempo estimado de 10 a 30 minutos en funcionamiento luego se afloja y se separa la torta de lodo húmedo, el líquido sobrante de los lodos debe regresar al influente de la planta.

#### *Tanques de Imhoff*

**Artículo 332:** Son tanques de sedimentación primaria en los cuales se incorpora la digestión de lodos en un compartimiento localizado en la parte inferior. Se conocen también como tanques de doble acción. Se dividen en tres cámaras que son:

- La sección superior, que se conoce como cámara de sedimentación por donde pasaran las aguas negras
- La sección inferior, que se conoce como cámara de digestión de lodos
- El respiradero y cámara de sobrenadante o área de ventilación del gas.

**Artículo 333:** Las aguas residuales llegaran a la cámara de sedimentación y pasaran a la cámara de digestión a través de las paredes inclinadas y por una ranura que comunica a la cámara de digestión.

**Artículo 334:** Las paredes deben de ser inclinadas para forzar a los gases a subir a la superficie para estos no intercedan en la acción sedimentadora, por tanto los gases producidos en la digestión y sólidos suspendidos serán desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

**Artículo 335:** Para el diseño de la zona de sedimentación se utilizaran los siguientes criterios:

- El área requerida para el proceso se determinara con una carga superficial de  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ , calculando en base al caudal medio.
- El periodo de retención nominal será de 1,5 a 2,5 horas. La profundidad será producto de la carga superficial y el periodo de retención.
- El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados, con respecto a la horizontal, tendrá de 0,15 a 0,20 m.
- El borde libre tendrá un valor mínimo de 0,50m.
- Las estructuras de entrada y salida, así como otros parámetros de diseño.

**Artículo 336:** Para el diseño del compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (zona de digestión) se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- El volumen de lodos se determinara considerando la reducción de 50% de sólidos volátiles, con una densidad de 1,05 kg/l y un contenido promedio de sólidos de 12,5% (al peso). El compartimiento será dimensionado para almacenar los lodos durante un proceso de digestión de acuerdo a la temperatura.

**Tabla 28**

Tiempo de digestión en función de la temperatura

Temperatura °C	Tiempo de digestión (Días)
5	110
10	76
15	55
20	40
25	30

*Nota:* RNE2006

- Alternativamente se determinara el volumen del compartimiento de lodos considerando un volumen de 70 litros por producto producido para la temperatura de 15 °C. Para otras temperaturas este volumen unitario se deberá multiplicar por un factor de capacidad relativa de acuerdo con los valores de la siguiente tabla:

**Tabla 29**

Factor de capacidad relativa en función de la temperatura

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
25	0,5

*Nota:* RNE2006

- La altura máxima de los lodos deberá estar en 0,5 m por debajo del fondo del sedimentador.
- El fondo del compartimiento tendrá la forma de un tronco de pirámide, cuyas paredes tendrán una inclinación de 15 a 30 grados; con respecto a la horizontal.

**Artículo 337:** Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas) se seguirá los siguientes criterios:

- El diámetro mínimo de las tuberías de remoción de lodos será de 100 mm (4").
- La tubería de remoción de lodos debe estar 15 cm por encima de fondo del tanque.
- Para la remoción hidráulica del lodo se requiere por lo menos una carga hidráulica de 1,80 m.

**Artículo 338:** Puesto que no existen partes mecánicas en un tanque Imhoff, debe prestarse atención a lo siguiente:

**Artículo 339:** Eliminar diariamente las grasas, natas y sólidos flotantes, del compartimiento de sedimentación.

**Artículo 340:** Raspar semanalmente los lados y fondos inclinados del compartimiento de sedimentación, con un cepillo de goma, para quitar los sólidos que se hayan adherido y que pueden descomponerse.

**Artículo 341:** Limpiar semanalmente la ranura del compartimiento de sedimentación. Puede emplearse un rastrillo de cadena.

**Artículo 342:** Cambiar el sentido del flujo por lo menos una vez al mes, cuando así esté previsto en el diseño del tanque.

**Artículo 343:** Controlar el sobrenadante en la cámara, rompiéndola por medio de chorros de mangueras a presión, manteniéndola húmeda con aguas negras del compartimiento de sedimentación y quitándola cuando su espesor llegue a unos 60 a 90 cm.

**Artículo 344:** La descarga de lodos debe hacerse antes que su nivel llegue a estar cerca de 45 cm de distancia de la ranura del compartimiento de sedimentación. Es mejor descargar pequeñas cantidades con frecuencia, que grandes cantidades en mucho tiempo. Los lodos deben descargarse a una velocidad moderada y regular para que no se forme un canal a través de los lodos, que deje descargar lodos parcialmente digeridos y parte del líquido que

haya sobre los lodos digeridos. La descarga no debe ser total sino que debe dejarse la cantidad necesaria para el inoculo. Cuando menos una vez al mes, debe determinarse el nivel a que lleguen los lodos en su compartimiento. Lo mejor y más recomendable es emplear para ello una bomba.

**Artículo 345:** Después de cada descarga de lodos, las líneas de descarga deben escurrirse y llenarse con agua o con aguas negras, para impedir que los lodos se endurezcan y obturen la tubería.

Prevención de la formación de espumas. Debe hacerse todo lo posible para impedir la formación de espumas, debido a que a veces es muy difícil corregir esta situación una vez que se ha presentado. La formación de espumas va asociada generalmente con una condición de acidez en los lodos y puede prevenirse en tales casos, o corregirse mediante un tratamiento con cal, para contrarrestar la acidez de los lodos. Cuando se formen espumas es recomendable solicitar la colaboración de un ingeniero sanitario experimentado. Sin embargo, hay unas cuantas medidas sencillas que, en ciertas circunstancias, remedian o mejoran esta situación.

## **TÍTULO X**

### **OTRAS UNIDADES Y OPERACIONES PARA LA SEPARACIÓN DE SÓLIDOS**

#### ***Capítulo I: Cloración***

**Artículo 346:** Se puede utilizar como un tratamiento único o final por el que se procesan las aguas residuales con el fin de destruir los microorganismos indeseables, y controlar los olores.

**Artículo 347:** Se recomienda por cuestiones de costo usar cloro líquido. Sin embargo en circunstancias particulares se previo al análisis con cloro líquido se puede toma compuestos clorados: cal clorada, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio y bióxido de cloro.

**Artículo 348:** En caso de que las exigencias del tratamiento lo indiquen, se debe contar con el equipo adecuado para clorar el efluente. Para niveles de alta complejidad los cloradores deben ser de una capacidad adecuada y tipo automático

**Artículo 349:** El sistema de cloración dependerá del cuerpo de agua receptor del efluente y será controlado por el caudal

**Artículo 350:** La capacidad del clorador variará según el punto de aplicación del desinfectante

**Artículo 351:** Para la desinfección, la capacidad debe de ser adecuada para producir una concentración de cloro en el efluente de la planta medio por un método estándar, para que sea consistente con los valores especificados para el cuerpo de agua receptor

**Artículo 352:** Existirá un equipo de emergencia, con suficiente capacidad para reemplazar la unidad de mayor tamaño durante paros por averías

**Artículo 353:** Se debe contar con reemplazos disponibles para aquellas piezas sujetas a desgastes y rotura para todos los cloradores.

**Artículo 354:** La dosificación del cloro varía de acuerdo a:

**Tabla 30**

Dosificación del cloro

<b>Agua residual bruta</b>	<b>Dosis (mg/l)</b>
<b>Agua residual con tratamiento preliminar y primario</b>	15-20
<b>Agua residual con tratamiento completo:</b>	
1. <b>Filtros biológicos</b>	4-8
2. <b>Lodos activados</b>	8-5
3. <b>Lagunas de estabilización</b>	5-10

El agua residual varía entre 0.3 mg/ a 1,0 ml/l valor medio 0,5 mg/l

*Nota:* NTM (2006)

**Tabla 31**

Dosis de cloro para desinfección normal de aguas residuales

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis de cloro para diseño, mg/L</b>
<b>Pre-cloración</b>	20 – 25
<b>Agua residual no tratada</b>	6 – 15
<b>Efluente primario</b>	8 – 20
<b>Efluente de filtro percolador</b>	3 – 15
<b>Efluente de lodos activados</b>	2 -8
<b>Efluente de filtro de arena</b>	1 - 6

*Nota:* NTM (2006)

**Artículo 355:** El cloro se debe aplicar en dos etapas en caso de ser necesario antes del tanque de sedimentación secundaria y después de este.

**Artículo 356:** El tiempo de contacto en la cámara de cloración no será mayor a 30 minutos con base al caudal medio horario

**Artículo 357:** Después de la mezcla rápida sustancial el tiempo mínimo de contacto será de 15 minutos con base al caudal máximo horario o la razón máxima de bombeo

**Artículo 358:** Se debe disponer de un suministro abundante de agua para la operación del clorador, cuando esta presión sea menor a  $1,76 \text{ kg/cm}^2$  es requerida una bomba de refuerzo

**Artículo 359:** Los sistemas de tuberías deben ser tan simples como sea posible, especiales para servicios de cloro, con un mínimo de juntas.

**Artículo 360:** Cuando se use cloro seco o en solución líquida o gaseosa se debe usar tuberías de hierro forjado o acero

**Artículo 361:** Cuando se trabaje con cloro mojado se usaran tuberías para baja presión como: las hechas de caucho endurecido, forradas de caucho, de polietileno, cloruro de polietileno (pvc)

**Artículo 362:** El tanque de contacto de cloro debe tener tabiques de direccionamiento del flujo para reducir al mínimo los cortocircuitos

**Artículo 363:** La cámara de contacto se divide en dos secciones con el propósito de no suspender la operación cuando una de ellas este en mantenimiento

**Artículo 364:** Los cálculos para la capacidad del clorador se basan en una concentración mínima de cloro residual de dos partes por millón y por lo menos, tres veces la capacidad normal

**Artículo 365:** Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple:

- Arranque
- Control de dosificación
- Monitoreo del cloro residual en el efluente
- Operación bajo diferentes condiciones hidráulicas

**Artículo 366:** Con el fin de asegurar el contacto real del agua residual con el cloro se debe usar un tanque de cloración con flujo horizontal, para cuyo cálculo hidráulico se puede proceder como se indica para tanques de mezcla o floculación.

**Artículo 367:** El afluente debe tener en su disposición final una cantidad de 1.5 mg/l de cloro

## ***Capítulo II: Irradiación ultra violeta***

**Artículo 368:** La irradiación ultra violeta es lograda por medio de la inducción de cambios fotobioquímicos con los micro-organismos.

**Artículo 369:** Se debe cumplir como mínimo con: 1) radiación de suficiente energía para alterar los enlaces químicos y 2) adsorción de tal radiación por el organismo condiciones para que la reacción fotobioquímica se pueda lograr.

**Artículo 370:** Se debe diseñar sobre características específicas y relevantes del agua residual en sitio.

**Artículo 371:** Se deben realizar ensayos pilotos particularmente si se va a trabajar con sistemas amansados no convencionales.

**Artículo 372:** El ingeniero estará en libertad de seleccionar el equipo más conveniente para el diseño. Se recomiendan los siguientes:

- Lámparas de mercurio a baja presión
- Sistemas ultravioletas horizontales
- Sistemas ultravioletas verticales
- Lámparas de mercurio de presión media
- Sistemas de alta intensidad de baja presión

**Artículo 373:** Las lámparas deben estar localizadas de manera tal que el agua pase a través de ellas

**Artículo 374:** Estas unidades deben localizarse en el canal efluente para eliminar la necesidad de un tanque o canal de contacto

**Artículo 375:** Las lámparas estarán encerradas en una estructura para proteger el equipo eléctrico

**Tabla 32**

Dosis de luces ultravioletas recomendadas

<b>Microorganismos</b>	<b>Dosis requeridas para inactivación en un 90%, mW.S/cm<sup>2</sup></b>
<b>Bacteria aeromonas hydrophila</b>	1.54
<b>Bacillus anthracis</b>	4.5
<b>Bacillus anthracis spores</b>	54.5
<b>Bacillus subtilis spores</b>	12
<b>Capylobacter jejuni</b>	1.05
<b>Clostridium tetani</b>	12
<b>Capylobacterium dipheriae</b>	3.4
<b>Escherichia coli</b>	1.33
<b>Escherichia coli</b>	3.2
<b>Escherichia coli</b>	3
<b>Klebsiella terrigena</b>	2.61
<b>Legionela pneumophila</b>	2.49
<b>Legionela pneumophila</b>	1
<b>Legionela pneumophila</b>	0.38
<b>Micrococcus radiodurans</b>	20.5

<b>Mycrobacterim tuberculosis</b>	6
<b>Pseudomonas aeruginosa</b>	5.5
<b>Salmonella enteris</b>	4
<b>Salmonella enteretidis</b>	4
<b>Salmonella paratyphi</b>	3.2
<b>Salmonella typhi</b>	2.26
<b>Salmonella typhi</b>	2.1
<b>Salmonella typhi</b>	2.5
<b>Salmonella typhimurium</b>	8
<b>Shigella dysenteriae</b>	2.2
<b>Shigella dysenteriae</b>	0.885
<b>Shigella dysenteriae</b>	2.2
<b>Shigella flexneri</b>	1.7
<b>Shigella paradysenteriae</b>	1.7
<b>Shigella sonnei</b>	3
<b>Staphylococcus aureus</b>	5
<b>Staphylococcus aureus</b>	4.5
<b>Staphylococcus faecalis</b>	4.4

<b>Staphylococcus pyogenes</b>	2.2
<b>Vibrio cholerae</b>	0.651
<b>Vibrio cholerae</b>	3.4
<b>Vibrio comma</b>	6.5
<b>Yersina enterocolitica</b>	1.07
<b>coliphage</b>	3.6
<b>Coliphage MS – 2</b>	18.6
<b>F – specific bacteriophage</b>	6.9
<b>Hepatitis A</b>	7.3
<b>Hepatitis A</b>	3.7
<b>Influenza virus</b>	3.6
<b>Poliovirus</b>	7.5
<b>Poliovirus 1</b>	5
<b>Poliovirus tipo 1</b>	7.7
<b>Ratavirus</b>	11.3
<b>Ratavirus SA - 11</b>	9.86

*Nota:* NTM (2006)

**Artículo 376:** Es recomendable dejar una distancia mínima de 2 m entre las estructura de entrada y salida de las lámparas para lograr un flujo uniforme

**Artículo 377:** Se debe usar una placa perforada para homogenizar el flujo, y debe estar a menos 1.5 m frente a la primera lámpara

**Artículo 378:** La separación entre las lámparas debe ser entre 0.5 y 1 metro

**Artículo 379:** Entre la última lámpara y el mecanismo de control de nivel de aguas debe existir una distancia dos a tres veces la distancia entre lámparas

**Artículo 380:** Se debe tener un alto grado de filtración y coagulación de los sólidos para lograr eficiencias altas de desinfección

**Artículo 381:** Las lámparas se deben limpiar con ácido diluido para evitar la acumulación de material insolubles en la superficie de estas y la selección del ácido dependerá de los requerimientos específicos del sitio

**Artículo 382:** Se incorporara burbujas de aires en la base del canal durante periodo cortos pero frecuentemente (10 minutos por día), para disminuir la acumulación de material en la superficie de las lámparas.

### ***Capítulo III: Procesos electroquímicos***

**Artículo 230:** Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo.

**Artículo 231:** Se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de lodos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

**Artículo 232:** Las consecuencias de las reacciones que se producen pueden ser indirectas, como en el caso de la electrocoagulación, electroflotación o electrofloculación, donde los productos formados por

electrolisis sustituyen a los reactivos químicos, y supone una alternativa con futuro a la clásica adición de reactivos.

**Artículo 233:** La aplicación se puede usar a través de una oxidación o reducción directa.

## **TITULO XI**

### **ALGUNOS ASPECTOS GENERALES DE LAS INSTALACIONES**

#### **Capítulo I: Instalaciones**

**Artículo 383:** El tamaño y complejidad de las estaciones de bombeo deben ser función del nivel de complejidad del sistema. En consecuencia, el diseñador debe dimensionarlas de manera consistente con el nivel definido y con las particularidades y necesidades específicas de cada caso. Las características adoptadas para la estación de bombeo deben ser plenamente justificadas.

#### Sala de bomba

**Artículo 384:** En el dimensionamiento de la sala de bombas deben atenderse las siguientes recomendaciones:

- El tamaño de la sala debe ser suficiente para alojar el conjunto bomba-motor y los equipos de montaje.
- Las dimensiones deben permitir la facilidad de circulación, montaje y desmontaje de los equipos, y dado el caso, el movimiento de las unidades de bombeo.

- Las dimensiones deben ser compatibles con las del pozo húmedo, con el fin de asegurar una adecuada distribución de la obra civil, buscando al mismo tiempo minimizar sus costos.

### *Medición y Control*

**Artículo 385:** Los dispositivos de control deben medir en todo momento las condiciones de operación y detectar fallas rápidamente. En los niveles medio alto y alto, estos dispositivos deben ser automáticos, evitando al máximo las funciones propias del operador. Como mínimo, deben colocarse los siguientes dispositivos de control:

- Medidor de caudal afluente.
- Medidores de niveles.
- Interruptor eléctrico accionado por flotador en el pozo húmedo conectado con el arrancador de la bomba.
- Interruptor eléctrico accionado por flotador en el tanque de descarga conectado con el arrancador de la bomba.
- Alarmas, en particular en los niveles de complejidad medio alto y alto
- Recomendable telemetría en el nivel de complejidad alto.

### *Sala de control*

**Artículo 386:** En los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, los sistemas de medición deben transmitir los datos a la sala de control, en la cual se ubican los tableros correspondientes. La información registrada en los tableros corresponde a las mediciones para el control de flujo y las mediciones sobre el comportamiento hidráulico, mecánico y eléctrico de las bombas y motores.

Así mismo, en la sala de control deben disponerse los interruptores y mecanismos que permitan poner fuera de servicio cualquier elemento relacionado con el sistema de bombeo.

El tamaño y complejidad de la sala de control y los sistemas de medición y control deben ser consecuentes con los niveles de complejidad del sistema.

#### *Accesos y escaleras*

**Artículo 387:** Entre los diferentes pisos deben colocarse escaleras seguras y apropiadas que permitan la movilización del personal y los equipos necesarios. En caso de falta de espacio, deben usarse escaleras metálicas con barandilla, peldaños amplios y piso antideslizante.

#### *Iluminación*

**Artículo 388:** Las estaciones de bombeo y otras debe estar debidamente iluminada en su interior, ya sea por luz natural o artificial, evitando la utilización de aparatos que puedan provocar ilusiones ópticas.

#### *Señalización*

**Artículo 389:** La estación debe contar con una señalización visual clara en toda el área, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas de emergencia, localización de extintores, áreas de tránsito restringido y demás elementos y actividades que sea necesario resaltar por su peligro potencial o porque resulten importantes en la prevención de accidentes.

### *Ventilación*

**Artículo 390:** Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

- Todas las salas, compartimientos, pozos y otros recintos cerrados por debajo del nivel del terreno que puedan presentar un aire perjudicial deben tener ventilación artificial forzada.
- Los controles de ventilación forzada pueden ser accionados manualmente desde afuera del recinto o automáticamente por medio de sensores cuando se detecten concentraciones perjudiciales de gases en el aire.

### *Protección contra incendios*

**Artículo 391:** Deben colocarse extintores en sitios de fácil acceso donde puedan ocurrir inicios de incendio.

### *Equipo de movilización*

**Artículo 392:** La capacidad del equipo deber ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado.

**Artículo 393:** El curso del equipo debe ser analizado para permitir en todo momento el retiro, movilización y reposición de cualquier elemento de la estación.

**Artículo 394:** Deben ser provistos los accesos necesarios en la casa de bombas de manera que permitan el manejo adecuado de los equipos en las labores de mantenimiento, retiro o reposición de elementos de la estación.

### *Drenaje de pisos*

**Artículo 395:** Deben ser previstos uno o dos pozos de drenaje, hacia los cuales se debe conducir el agua de fugas o lavado por medio de una pendiente muy suave en el piso de la sala de bombas.

**Artículo 396:** Cuando los pozos de drenaje no puedan ser evacuados por gravedad, debe disponerse de bombas para tal fin, las cuales pueden ser accionadas automáticamente por medio de sensores. Esto último es recomendable para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto.

### *Aislamiento acústico*

**Artículo 397:** En caso de que puedan ocurrir incomodidades a los vecinos de la estación por ruido excesivo, debe diseñarse un sistema de aislamiento acústico de la planta.

**Artículo 398:** La sala de operación y control debe tener aislamiento acústico de la sala de bombas, en particular para el nivel de complejidad del sistema alto.

## ***Capítulo II: Diseños y especificaciones eléctricas, mecánicas, geotécnicas y estructurales***

**Artículo 399:** Los diseños eléctricos, mecánicos, geotécnicos y estructurales deben basarse en las disposiciones y reglamentaciones vigentes en estos aspectos. El diseñador debe tener en cuenta la normatividad correspondiente en cada uno de los casos y sustentar adecuadamente sus diseños.

### **Capítulo III: Aspectos de la puesta en marcha**

#### *Inspecciones preliminares*

**Artículo 400:** En la etapa de puesta en marcha deben realizarse las siguientes inspecciones en los diferentes elementos de la estación de bombeo, antes de continuar con cualquier prueba: Deben realizarse unas pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación, con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas antes de dar al servicio la estación de bombeo.

- Deben verificarse todas las instalaciones eléctricas en sus conexiones y aislamientos.
- Debe verificarse el correcto funcionamiento de válvulas y accesorios en su apertura y cierre.
- Debe medirse el tiempo de accionamiento y corregir el mecanismo correspondiente en caso de encontrar necesidad de grandes esfuerzos para su operación.
- Debe observarse el correcto funcionamiento de interruptores, arrancadores, sensores y demás elementos de control, en especial si estos son de accionamiento automático.
- Debe asegurarse que los ejes de los motores estén perfectamente alineados.
- Los motores y válvulas deben estar perfectamente lubricados. Debe verificarse la calidad y cantidad del aceite lubricante.
- En general, debe observarse el aspecto general de la estación en sus acabados, pintura, protecciones y accesos.

### *Pruebas preliminares*

**Artículo 401:** Se deben tomar registros de los datos de los cuales se exija medición y presentar un informe de la prueba, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas. En caso de encontrar anomalías en el funcionamiento o condiciones de operación diferentes a las previstas en el diseño, deben tomarse las medidas correctivas que sean necesarias antes de colocar en servicio la planta.

### *Bombas y motores*

**Artículo 402:** En una primera inspección del comportamiento de las bombas deben seguirse las siguientes disposiciones:

- Para cada bomba individual deben observarse las condiciones de circulación del agua y la posible vorticidad.
- Debe prestarse especial atención a la posible entrada de aire a la tubería de succión.
- En el caso de motores diesel, deben estimarse los tiempos de arranque.
- Debe obtenerse el punto de operación de la estación de bombeo, midiendo el caudal total a la salida de una unidad de bombeo y la altura dinámica total suministrada.

### *Dispositivos de control*

**Artículo 403:** Debe asegurarse un normal funcionamiento de los equipos de medición y control. Debe observarse el comportamiento de manómetros, sensores, flotadores, indicadores de nivel y demás dispositivos de control.

### ***Aspectos de la operación***

**Artículo 404:** Durante la operación deben seguirse las siguientes disposiciones:

- El accionamiento de bombas debe ser automático, de tal forma que se apaguen las bombas en caso de que los bajos niveles de agua impidan el normal funcionamiento del sistema de bombeo y se enciendan cuando los niveles del pozo de succión indiquen que estén cercanos al máximo permitido.
- Los dispositivos de medición y control deben dar indicaciones visuales y sonoras de una situación de potencial peligro.
- Se deben disponer de elementos y sistemas adecuados para la limpieza de la estación de bombeo.
- Debe disponerse de sistemas de encendido individual para cada unidad de bombeo.

## ***TITULO XIII***

### ***DISPOSICIONES FINALES Y TRANSITORIAS***

**Artículo 405:** Es incumbencia del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y del Ministerio del Poder Popular para la Salud, establecer estrategias y planes específicos de manejo y control de calidad de agua para las cuencas hidrográficas, con el propósito de mejorar la calidad de determinado cuerpo de agua.

**Artículo 406:** La clasificación de los cuerpos hídricos receptores para sus diferentes usos está determinada por las Gacetas N° 5021 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”, Gaceta N° 5305 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia”, Gaceta N° 36.344

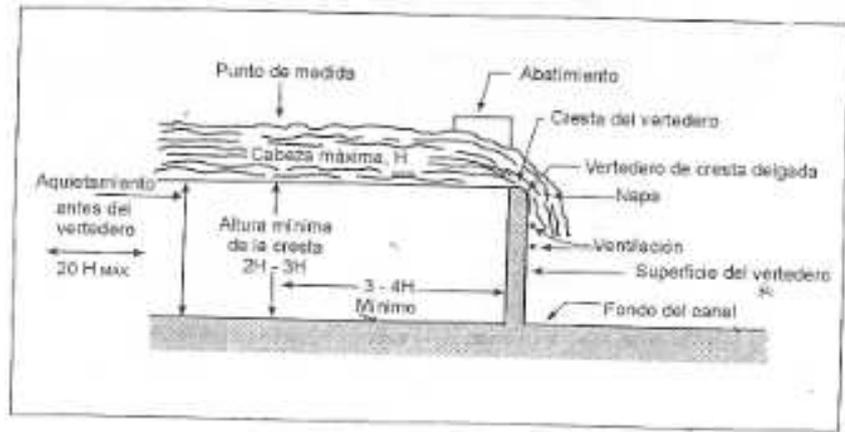
“Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del río Yaracuy” y Gaceta N° 34.626 “Ley programa para el saneamiento del lago de Maracaibo”

**Artículo 407:** Mientras no sean creados y dotados los órganos previstos en esta Ley, las funciones administrativas sobre conservación, defensa y mejoramiento ambiental, las tendrán quienes en la actualidad las ejercen de conformidad con las respectivas leyes vigentes.

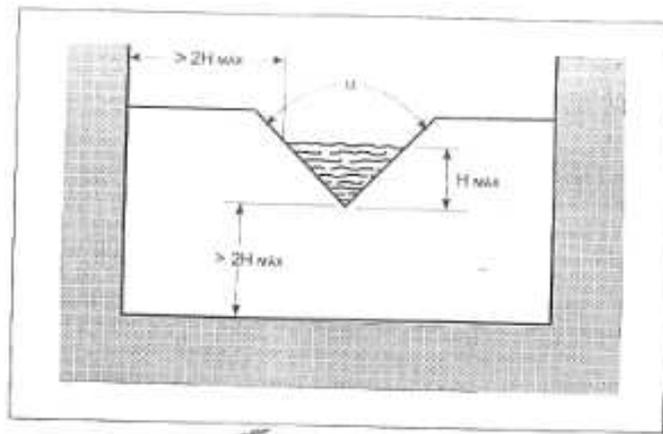
**Artículo 408:** En caso de modificación de las gacetas 5021, 5305, 36344 o 34626, los valores permisibles de la presente cambiarán, por lo que se deben realizar modificaciones en las plantas diseñadas siguiendo estos parámetros. El tiempo reglamentario luego de derrocada la ley será establecido por el estado.

# Anexos

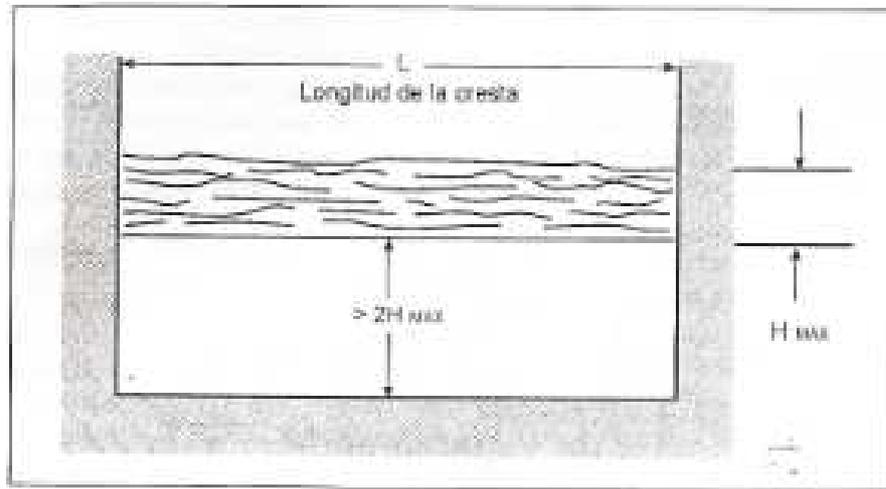
**Anexo A:** Perfil típico de descarga en un vertedero de pared delgada



**Anexo B:** Vertedero triangular de pared delgada



**Anexo C:** Vertedero rectangular de pared delgada sin contracciones



**Anexo D:** Vertedero rectangular de pared delgada con contracciones

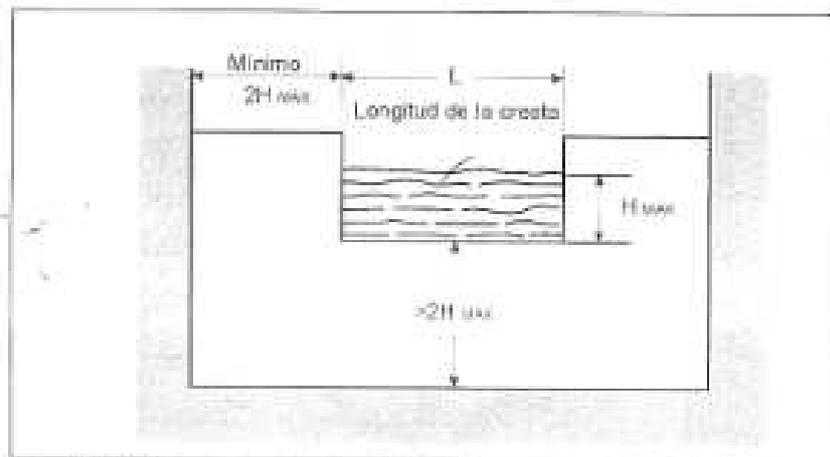
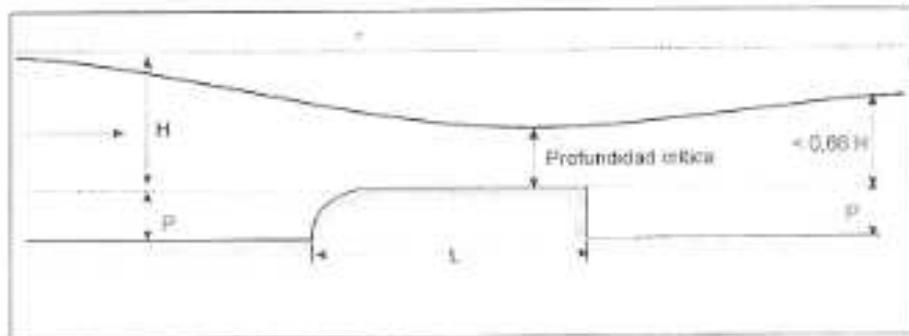
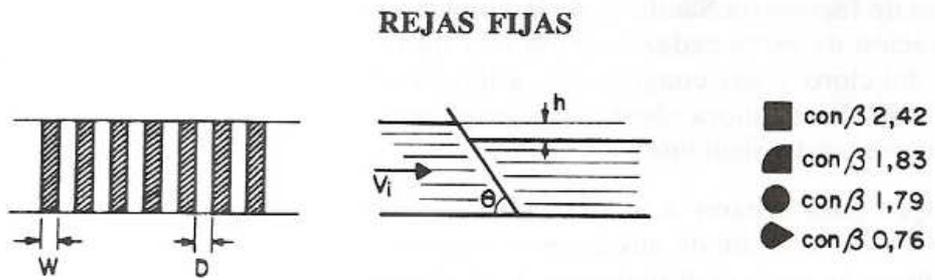


Figura 2.5: Vertedero rectangular de pared delgada con contracciones

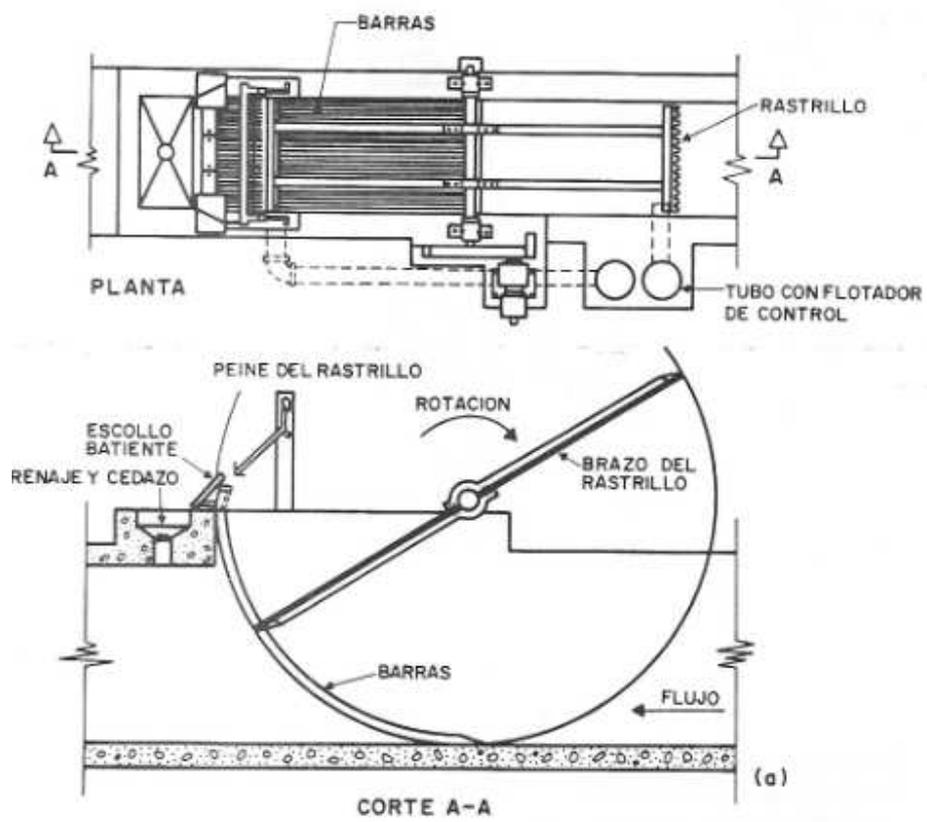
**Anexo E:** Vertedero rectangular de pared gruesa



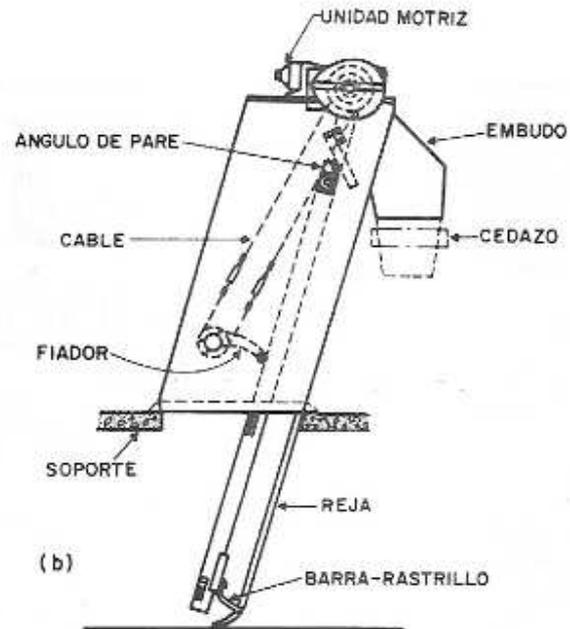
**Anexo F:** Diagrama de rejas fijas, donde se indican los valores que corresponde a la ecuación para el material retenido.



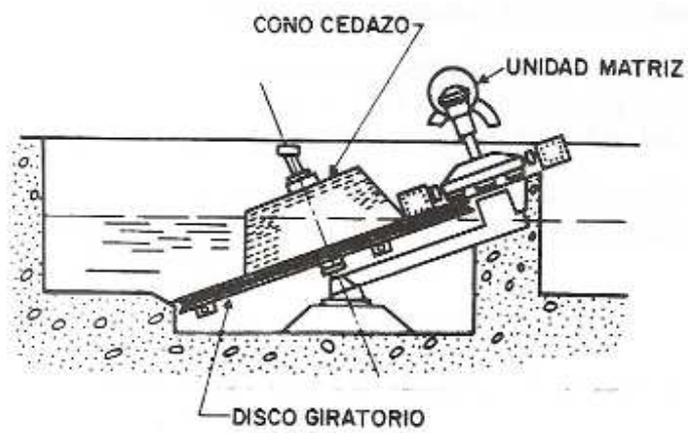
**Anexo G:** Modelo de rejilla de barras curvas



**Anexo H: Modelo de rejillas de barras rectas**

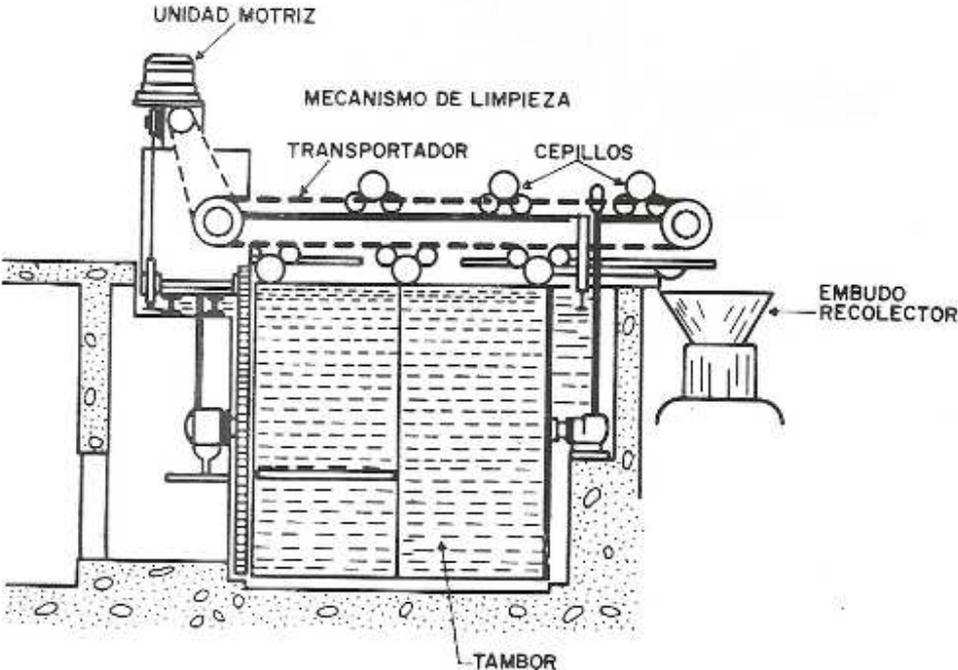


**Anexo I: Cedazo de disco giratorio**

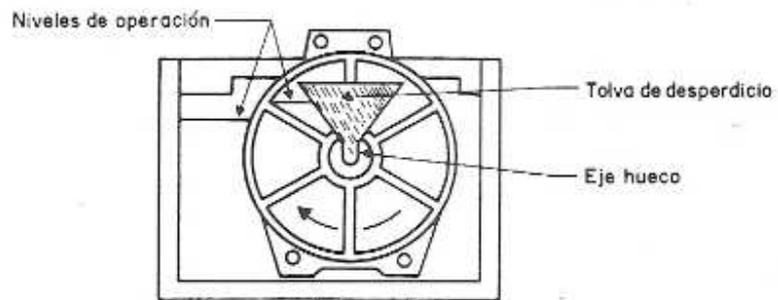
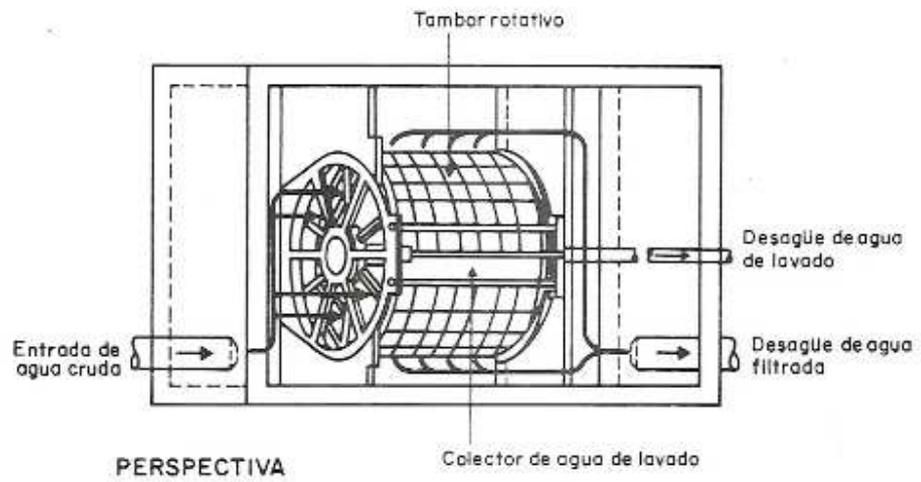


**Anexo J: Cedazo de cilindro giratorio**

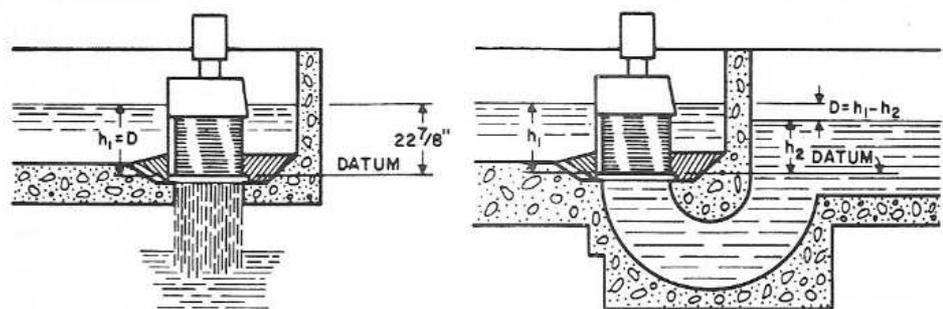
**CEDAZO DE CILINDRO GIRATORIO**



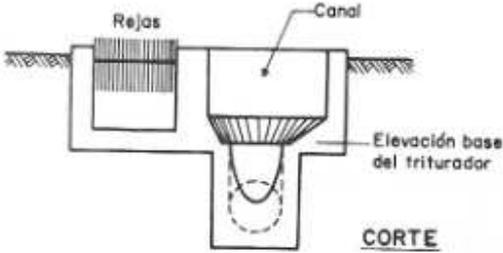
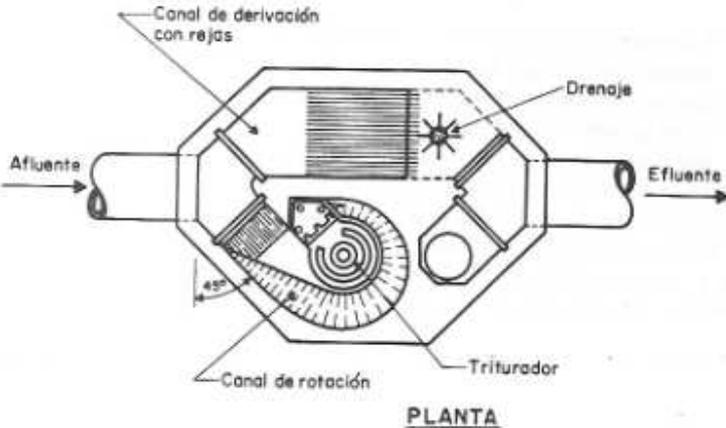
**Anexo K: Detalle de la micromalla**



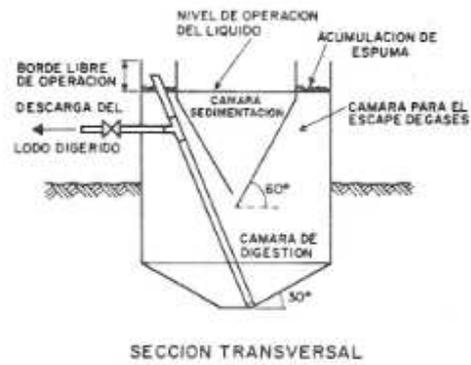
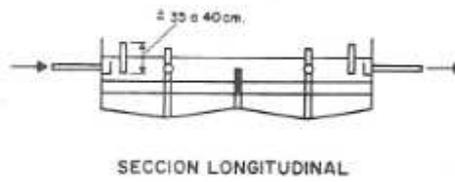
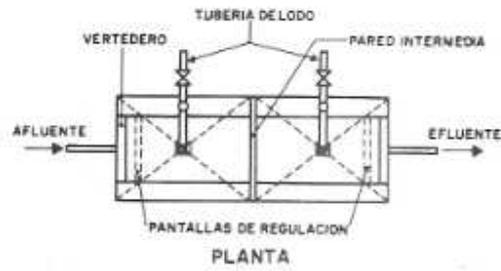
**Anexo L: Triturador tipo Chicago Pum Co.**



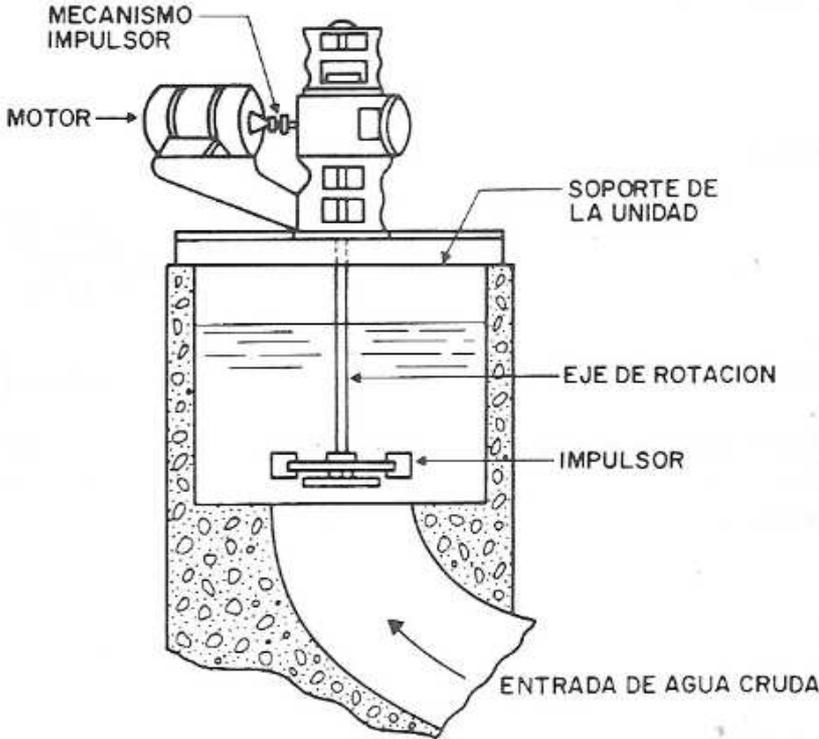
**Anexo M:** Instalación típica de un triturador



**Anexo N:** Diseño típico de tanque Imhoff



**Anexo O:** Mezclador rápido con impulsor



**Anexo P: Modelos de floculador**

**FLOCULADOR POR AGITACION DE AIRE**

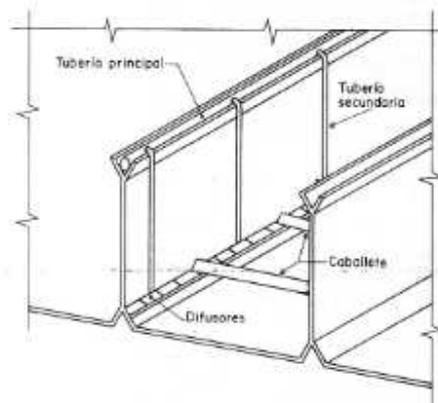
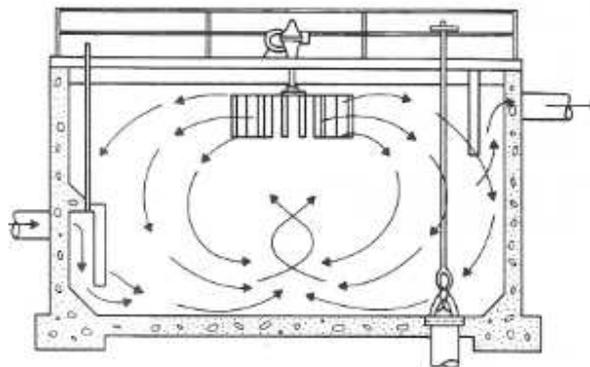


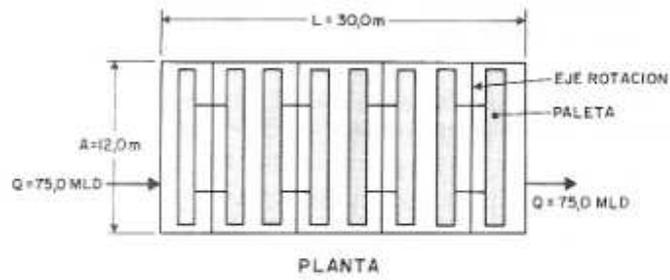
Fig. 4.32

**FLOCULADOR POR AGITACION MECANICA**

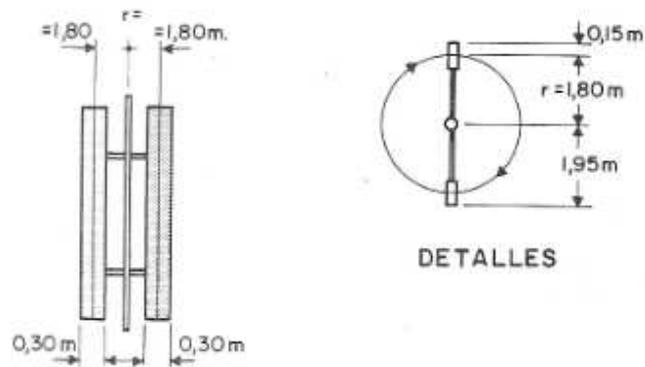
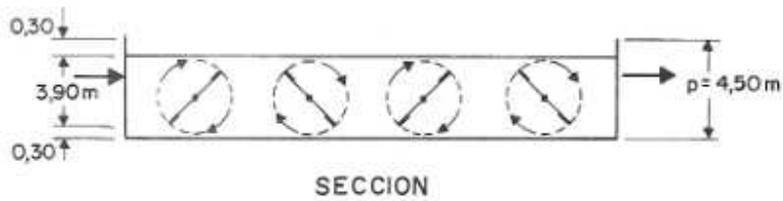


**Anexo Q: Detalles del floculador mecánico**

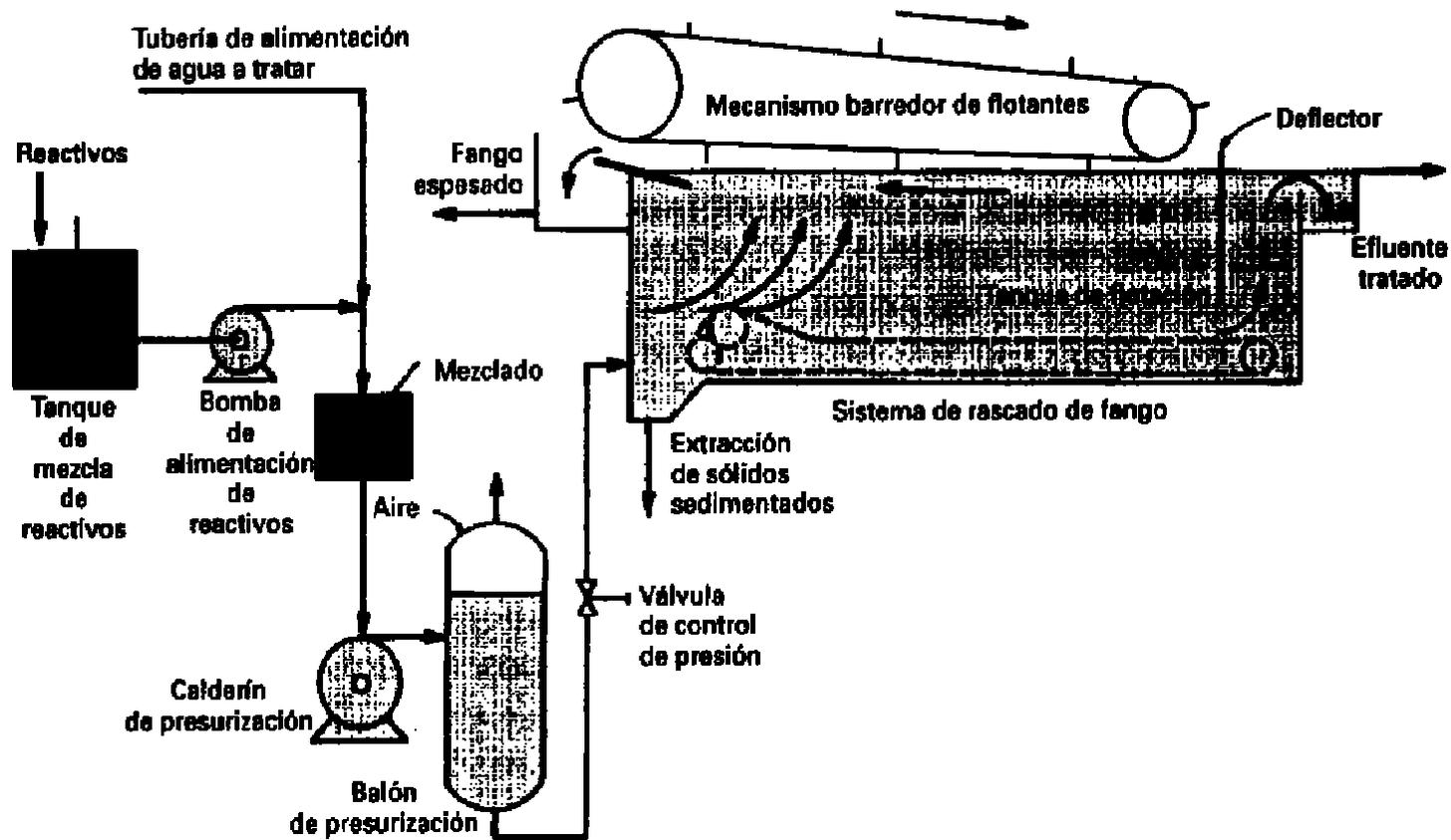
**FLOCULADOR MECANICO, DETALLES**



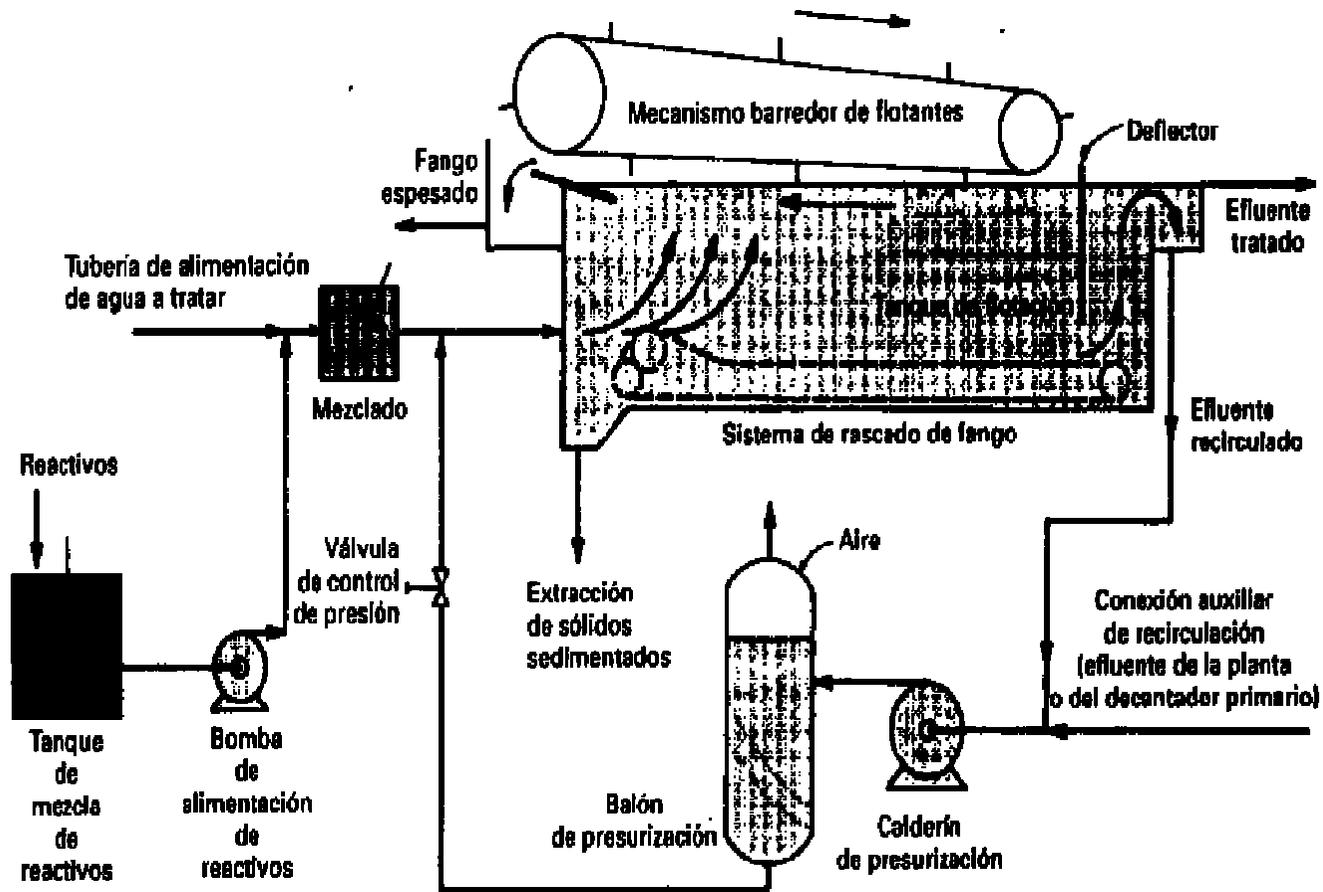
VOLUMEN ESTANQUE  
 $V = 30,0 \times 12,0 \times 4,50 = 1.620\text{m}^3$



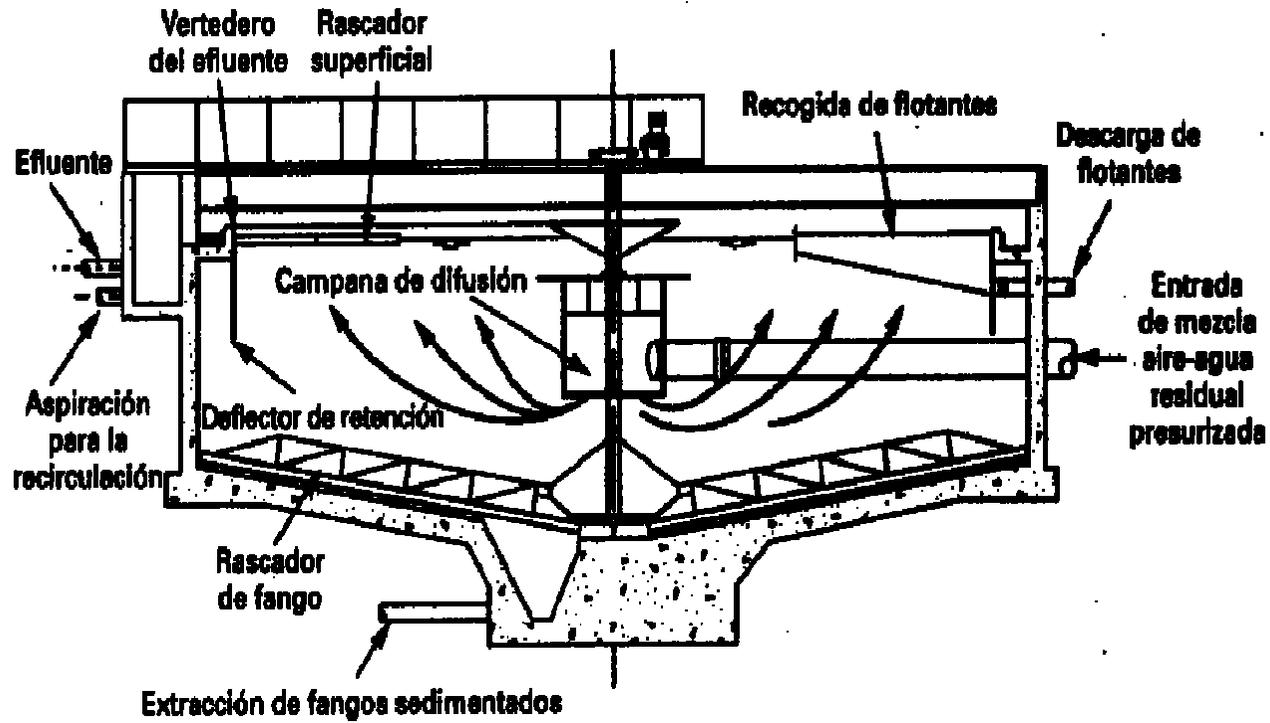
Anexo R: Flotación por aire disuelto sin recirculación



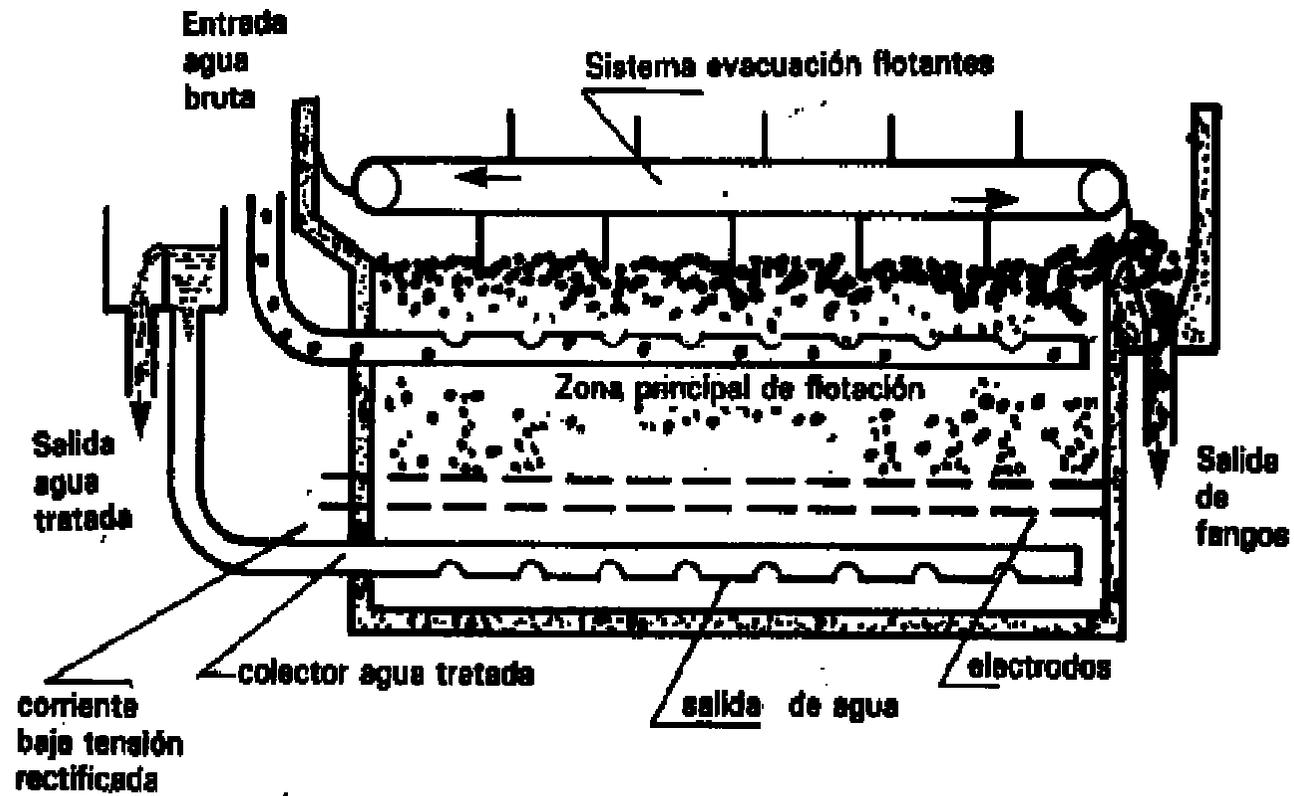
Anexo S: Flotación por aire disuelto con recirculación



Anexo T: Flotación por aire disuelto, para espesamiento con lodo activado en exceso



Anexo U: Tanque de flotación por aireación



## Conclusiones

Es necesaria la realización de una propuesta de normas técnicas que agrupe los parámetros que se deben seguir en el diseño de los sistemas físico-químico en plantas de tratamiento de aguas residuales, donde se establezcan; técnicas, métodos de medición, estrategias de prueba, y sugerencias para a la elaboración de proyectos desde la ingeniería básica, hasta el arranque y operación de la planta.

A nivel internacional distintos países contemplan normativas, en las que se establecen los parámetros y características técnicas necesarias para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Es común la realización de sistemas que contengan primeramente, un sistema de desbaste como tratamiento preliminar, seguido de una unidad de coagulación-floculación para posteriormente pasar a un sistema de sedimentación y separación de lodos de desecho.

Con respecto a los diseños actuales existen factores que inciden en la elección de las unidades, como lo son: tipo de efluente, área disponible, experiencia del calculista, así como las facilidades que se tenga para conseguir equipos u otros.

La presente propuesta de Normas Técnicas, les otorgara una guía practica, a los ingenieros Proyectistas en el momento de proceder al diseño

de los sistemas físico-químicos para plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, proporcionándole de esta forma la información necesaria que garantiza la elaboración de un diseño acorde con lo con el efluente a tratar.

## Recomendaciones

Se recomienda que la presente propuesta para normas técnicas para el diseño de sistemas físico-químicos en sistemas de tratamiento de aguas residual sea revisada y ampliada por estudiantes y profesionales dedicados al diseño de plantas de tratamiento y que cuenten con los conocimiento sobre las nuevas tecnología aplicadas en materia de tratamiento.

Divulgar y aplicar las presentes normas propuestas para que se puedan tener sistemas óptimos.

Someter a revisión la presente propuesta por organismos encargados de la normalización en el país.

Vigilar el cumplimiento y aplicación de la presente norma, interpretarla para efectos administrativos, y aplicar sanciones una vez sea promulgada. Incorporando al sistema de las autoridades sanitarias el contenido técnico y sanitario de la propuesta.

Realizar una norma para tratamientos biológicos y avanzados para aguas residuales de origen domestico e industrial, pues este también forma parte del tratamiento que se les da a las aguas residuales para así de este modo tener una guía para cada sistema de tratamiento.

## Bibliografía

(Organización Mundial de la Salud), (20 de Enero de 2010). *Monografias.com*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos32/derecho-al-agua/derecho-al-agua.shtml>

Alan S. Foust, L. A. (2006). *Principios de Operaciones Unitarias*. México: Compañía Editorial Continental.

Antonio Rodríguez, F. A. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: CITME.

Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill.

Arias, F. G. (1999). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. Guía para su elaboración*. Caracas: Editorial Episteme.

Biblioteca de la Universidad de Zaragoza. (2006). <http://biblioteca.unizar.es>. Recuperado el 5 de Marzo de 2011, de <http://biblioteca.unizar.es/buscar/normas.php>

. *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS)*. Bogotá- Colombia(2000).

Desconocido. (3 de 12 de 2010). Desbordamiento del río Guaire en Guarenas afecta sector La Villa Panamericana . *Minuto a minuto* , pág. Publicación Web consultada Mayo 2011.

Escobar, H. (24 de Abril de 2003). *Monografías.com*. Recuperado el 8 de Marzo de 2011, de Monografías.com: <http://www.monografias.com/trabajos12/tratag/tratag.shtml>

Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.

Libertador, U. P. (2010). *Manial de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. Maracay.

Martínez, E. F. (2010). *Material de Universidad Metropolitana*. Caracas.

Metcalf-Eddy. (1977). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. Madrid: Editorial Labor C.A.

Mijares, G. R. (1967). *Tratamiento del agua residual*. Caracas: McGraw-Hill.

Montalbán, R. (2011). *gemini.udistrital*. Recuperado el 07 de Mayo de 2011, de gemini.udistrital: [http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap12.pdf](http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap12.pdf)

Romero, J. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Colombia.

Sagan-Gea. (14 de Enero de 2010). <http://www.sagan-gea.org>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de <http://www.sagan-gea.org/hojared/portada1.htm>: <http://www.sagan-gea.org>

Salud, O. P. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima.

Tamayo, M. T. *EL proceso de la investigación científica*.

Tamayo, M. T. (2006). *El proceso de la investigación científica*. Baldaras, México: Editorial Limusa S.A.

Wikilibros. (2002). *Ingeniería de aguas residuales*. Boston: Free Software Foundation, Inc.

Wikipedia. (1998). *Wikipedia*. Recuperado el 07 de Mayo de 2011, de Wikipedia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas\\_residuales](http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_residuales)