

76



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

INGENIERÍA DE PROYECTOS APLICADA AL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A :  
CARLOS MORALES VALLADAREZ

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1994



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

**JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA:**

<b>PRESIDENTE:</b>	Prof. EDUARDO ROJO Y DE REGIL
<b>VOCAL:</b>	Prof. CLAUDIO ARMANDO AGUILAR MARTINEZ
<b>SECRETARIO:</b>	Prof. RODOLFO TORRES BARRERA
<b>1er. Suplente:</b>	Prof. JESUS GONZALES PEREZ
<b>2do. Suplente:</b>	Prof. VICTOR MANUEL LUNA PABELLO

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

- FACULTAD DE QUIMICA, UNAM.
- SERVICIOS PROFESIONALES EN CONTROL DE CONTAMINANTES, S.A. DE C.V.

ASESOR:           ING. RODOLFO TORRES BARRERA

ASESOR TECNICO: ING. GERARDO MIGUEL VERGARA MORAN

SUSTENTANTE:   CARLOS MORALES VALLADAREZ

*A la memoria de mi Padre*

**Emigdio Morales Salinas**

*A mi madre*

**Oliva Valladares de Morales**

*por su apoyo durante toda mi vida*

*A toda mi familia*

**Teresa, Concepción, Agustina, Virginia, Adela, Silvia, Jesús,  
Roque, Adolfo, Cruz E.**

**María Leonor, María de los Angeles, Martha, Leoncio,  
Martín, Lorenzo.**

A todos mis sobrinos.

A todos mis tíos y primos; en especial a mi tía Eusebia.

Con quienes quiero compartir esta etapa de mi vida profesional

*A la memoria de mis abuelos*

**J. Jesús Morales Hernández  
Agustina Salinas de Morales**

**Delfino Valladares Medina  
Gertrudis Hernández de Valladares**

*A la memoria de mi tío*

**Arnulfo Morales Salinas**

Que forman parte importante de mi vida.

Dedico especialmente a

**Mónica López Santos**

Por su cariño, comprensión, ayuda y apoyo al inicio de esta etapa profesional y por el futuro que nos espera.

A los

**Profesores de estudios, medios, medio superior y superior**

Por haberme transmitido su gusto e interés por la Química, Matemáticas, Física y la Ingeniería Química.

A las

**Instituciones públicas**

**y**

**a sus maestros**

Que me dieron formación desde el nivel básico al superior

A todos los

**Compañeros y amigos de estudios de la Facultad de Química**

**y**

**Compañeros de profesión**

Que con sus fructíferas discusiones y observaciones, me han alentado el estudio y aplicación de la Ingeniería Química en favor del mejoramiento del ambiente.

**Agradezco especialmente al**

**Ing. Rodolfo Torres Barrera**

**y a**

**Servicios Profesionales en Control de Contaminantes, S.A. de C.V.**

**Por su valioso apoyo en la elaboración de este trabajo.**

**A mi escuela la**

**Facultad de Química**

**y a mi querida ALMA MATER la**

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Fuentes inagotables de conocimiento.**

**A mi querido país**

**México**

**Para que pronto se de el cambio al camino verdadero para solucionar sus graves problemas económicos, políticos y sociales que le aquejan.**

Los primeros filósofos pensaban que los principios de sustancia natural eran los únicos principios de todas las cosas. De lo que se componen todas las cosas que existen, el principio del que provienen, el fin en el que se convierten... éste dicen es el elemento y aquel el principio de las cosas... aunque no todos se ponen de acuerdo en el número y naturaleza de estos principios. Tales, el fundador de este tipo de filosofía, dice que el principio es el agua...

ARISTOTELES 336 a. J.C.

Las fotografías de la tierra muestran que ésta tiene un color verde azulado. Nuestro planeta adquirió esta agradable característica, después de girar unos tres millones de años bajo la luz solar. La energía solar que llega a la superficie terrestre con una intensidad de 2 calorías/(cm<sup>2</sup> minuto), inició los procesos biológicos en las aguas primitivas. Como consecuencia, la tierra pronto estuvo dotada de una atmósfera de composición parecida a la actual. Durante unos 1500 millones de años, las mezclas y compuestos de los principales constituyentes del aire y del agua (elementos ligeros, carbono, oxígeno y nitrógeno) se han mantenido estables por su migración cíclica a través de los tejidos de las plantas, de los animales que se alimentan de ellas y de los microorganismos que los descomponen. La biosfera, esa delgada capa de aire, agua, suelo y vida, cuya profundidad no excede de los 16 kilómetros (1/400 del radio de la tierra) es ahora el marco y escenario de la incierta historia del hombre.

SCIENTIFIC AMERICAN



# INDICE

---

Indice.	Página
	I
<b>Lista de figuras y tablas.</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Control de la contaminación del agua</b>	<b>3</b>
2.1 La necesidad del tratamiento de las aguas residuales.	3
2.2 Normatividad ambiental en el control de la contaminación del agua.	4
2.3 La necesidad de un uso adecuado del agua en la industria.	5
2.4 La ingeniería en el control de la contaminación del agua.	6
<b>3. Estrategia a seguir en proyectos de tratamiento de aguas residuales.</b>	<b>7</b>
3.1 Proyecto Básico.	9
3.2 Proyecto Ejecutivo.	10
3.3 Proyecto de Obra.	10
<b>4. La multidisciplinariedad en el control de la contaminación del agua.</b>	<b>11</b>
4.1 El papel de la Ingeniería Química en el control de la contaminación del agua.	11
4.2 Selección del consultor ambiental.	12
4.3 Responsabilidad del consultor ambiental hacia la planta industrial.	14
4.4 Servicios que debe ofrecer el consultor ambiental.	14
4.5 La administración del proyecto.	15
4.6 Comunicados del proyecto.	17
<b>5. Situación actual de la planta industrial.</b>	<b>20</b>
5.1 Delimitación del problema.	23
5.2 Definición de los puntos de aforo y caracterización de corrientes.	26
5.3 Aforo de corrientes.	26
5.4 Muestreo y análisis de corrientes.	29
5.5 Reporte de resultados analíticos.	32
5.6 Cálculo de la carga contaminante.	34
5.7 Análisis de resultados.	34
5.8 Cuestionario informativo para definir la situación actual de la planta industrial, en relación a sus descargas de aguas residuales.	37

<b>6. Estudio técnico-económico.</b>	40
6.1 Cambios al interior de la planta industrial.	40
6.2 Análisis de segregación de corrientes.	43
6.3 Pruebas de tratabilidad.	45
6.4 Selección del proceso de tratamiento.	46
6.5 Alternativas de trenes de tratamiento.	47
6.6 Selección de la alternativa de tren de tratamiento técnicamente más factible.	49
6.7 Características de diseños normalizados de sistemas de tratamiento.	52
6.8 Selección de materiales y equipo.	54
6.9 Inversión total inicial en el sistema de tratamiento de agua residual.	55
6.10 Costos de operación y mantenimiento.	58
6.11 Evaluación económica.	59
6.12 Métodos de estimación de costos para sistemas de tratamiento.	60
<b>7. Ingeniería básica.</b>	66
7.1 Bases de diseño.	67
7.2 Criterios de diseño.	68
7.3 Balances de materia.	69
7.4 Descripción detallada del proceso de tratamiento.	69
7.5 Diagramas del proceso de tratamiento.	70
7.6 Lista de los equipos principales de tratamiento.	70
7.7 Hojas de datos de los equipos principales de tratamiento.	71
7.8 Diagramas de tubería e instrumentación del sistema de tratamiento (preliminar).	72
7.9 Arreglo general del sistema de tratamiento.	73
7.10 Requerimientos de servicios auxiliares y agentes químicos.	73
7.11 Filosofías básicas de operación del sistema de tratamiento.	75
7.12 Otras características importantes de diseño.	75
<b>8. Ingeniería de detalle.</b>	80
8.1 Estudio topográfico del terreno.	81
8.2 Estudio de mecánica de suelos.	82
8.3 Diseño mecánico de los equipos de tratamiento.	82
8.4 Localización general de los equipos de tratamiento (definitivo).	84
8.5 Diseño de tuberías.	84
8.6 Diseño eléctrico.	85
8.7 Ingeniería de instrumentación.	86
8.8 Tipos de dibujos para sistemas de tratamiento.	88

<b>9. Procura de equipos y materiales.</b>	91
9.1 Procedimientos de procuración.	91
9.2 Cotización.	92
9.3 Comparación de ofertas.	92
9.4 Elaboración de la orden de compra.	93
9.5 Compra de materiales y equipo.	93
9.6 Inspección.	94
9.7 Expeditación.	94
9.8 Prácticas generales comprador-vendedor.	95
<b>10. Construcción.</b>	96
10.1 Selección de la empresa constructora.	96
10.2 Planeación de la construcción.	97
10.3 Actividades en la construcción.	98
10.4 Preparación del terreno.	98
10.5 Edificios provisionales.	98
10.6 Abastecimiento provisional de agua.	99
10.7 Excavaciones.	99
10.8 Instalaciones de tuberías.	100
10.9 Edificios no relacionados al tratamiento.	100
10.10 Etapas finales de construcción.	100
<b>11. Arranque y operación.</b>	102
11.1 Desarrollo de recursos humanos.	103
11.2 Clasificación y entrenamiento del personal del sistema de tratamiento.	104
11.3 Reportes y registros de tratamiento.	104
11.4 Operación y operador.	112
11.5 Programa general de mantenimiento del sistema de tratamiento.	113
11.6 Indicaciones para el tratamiento.	114
<b>12.0 Conclusiones y recomendaciones.</b>	115
<b>Apéndice A. Diseño de diversos equipos de tratamiento.</b>	117
<b>Bibliografía.</b>	138

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Núm. de figura.	Páginas
Figura 3.1 Etapas de un proyecto de tratamiento de aguas.	8
Figura 4.1 Selección del grupo de consultor.	13
Figura 4.2 Programa de obra de un proyecto de tratamiento de aguas.	18
Figura 4.3 Diagrama de Gantt.	19
Figura 5.1 Definición de la situación actual.	21
Figura 5.2 Estudio del agua en la industria.	22
Figura 5.3 Formato de análisis de agua.	35
Figura 5.4 Diagrama de bloques y balance de materia.	36
Figura 6.1 Análisis técnico económico.	41
Figura 6.2 Análisis de segregación de corrientes.	42
Figura 6.3 Gráfica de costos.	65
Figura 7.1 Diagrama del agua en una planta química.	77
Figura 7.2 Diagrama general de un sistema de tratamiento de aguas.	78
Figura 7.3 Diagrama del control de contaminantes al interior de una planta industrial.	79
Figura 8.1 Detalle de tanques sedimentadores.	89
Figura 8.2 Diagrama de un filtro de agua por gravedad.	90
Figura 11.1 Hoja de reporte de datos de un sistema de tratamiento.	107
Figura 11.2 Hoja de reporte de un tratamiento primario.	108
Figura 11.3 Hoja de reporte de un filtro rociador.	109
Figura 11.4 Hoja de reporte de datos de lodos activados.	110
Figura 11.5 Hoja de reporte de servicio de motores.	111

<b>Núm. de tabla.</b>	<b>Páginas</b>
Tabla 5.1 Composición típica del agua residual doméstica.	24
Tabla 5.2 Contaminantes característicos de aguas residuales generadas por diferentes industrias.	24
Tabla 5.3 Volumen, tiempo de almacenamiento y preservación de muestras de agua residual.	31
Tabla 5.4 Valores de parámetros característicos de aguas residuales de una fábrica de hilados de lana	32.
Tabla 5.5 Valores de parámetros característicos de aguas residuales de una fábrica de conservas.	32
Tabla 5.6 Características contaminantes de algunos químicos orgánicos disueltos.	33
Tabla 6.1 Requerimientos de calidad del agua tratada para su reutilización.	44
Tabla 6.2 Porcentajes de remoción de compuestos más comunes mediante diversos procesos de tratamiento.	48
Tabla 6.3 Procesos de tratamiento de aguas residuales.	49
Tabla 6.4 Vida estimada del equipo de tratamiento y depreciación anual.	59
Tabla 6.5 Valores de $\alpha$ para diferentes sistemas de tratamiento.	62
Tabla 6.6 Factores de Lang para plantas de tratamiento de aguas residuales.	63

# 1. INTRODUCCION

---

México es de los pocos países que disponen de tantas cuencas hidrológicas: más de 300 con un escurrimiento anual superior a los 4000 millones de metros cúbicos de agua (12,684 m<sup>3</sup>/s). Pero la distribución y utilización no es uniforme ni adecuada en relación a la ubicación de los núcleos urbanos e industriales.

El 3 por ciento de los escurrimientos se localizan al norte del país, más de la mitad se localiza en el sureste y la región central (que muestra cierto equilibrio). Estas dos regiones concentran el restante 47 por ciento; sin embargo la demandas de agua en la región central son de tal magnitud que se recurren a otras cuencas para cubrir la necesidades de sus habitantes y las actividades económicas que ahí se desarrollan.

Todos los reportes oficiales reconocen que la mayoría de los cuerpos de agua del país, sufren una severa y crítica contaminación. Actualmente es difícil encontrar abastecimientos de agua de buena calidad; algunos de los principales acuíferos formados desde los tiempos prehistóricos, en un futuro no muy lejano desaparecerán debido a la falta de recarga natural y los altos niveles de contaminación que alcanzan. Otras fuentes de suministro como ríos, lagos, manantiales han disminuido en forma alarmante su calidad debido al aumento en el agua de sólidos disueltos y suspendidos.

El crecimiento demográfico e industrial deriva en un aumento en el consumo de agua y en consecuente aumento de los volúmenes de aguas residuales descargadas al medio. Las Secretarías de Desarrollo Social y de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SEDESOL y SARH), estiman que los volúmenes descargados de aguas residuales en todo el país son aproximadamente de 184 m<sup>3</sup>/s, de las cuales una tercera parte es aportado por los centros urbanos del Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey.

Actualmente se trata el 9 por ciento de esas descargas en 200 plantas de tratamiento municipales y en 60 plantas de tratamiento de efluentes industriales<sup>1</sup>. De estas plantas de tratamiento el 80 por ciento no funcionan (especialmente las municipales).

En un intento de proteger los diversos recursos acuáticos, se han establecido diversas Normas y Reglamentos que fijan valores límites de los parámetros de contaminación. En 1987 se reforma la Constitución Política de México; se incluyen en el texto del artículo 27 los conceptos de restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente. Como consecuencia en 1988 se establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, lo cual permitió a la SEDUE (actualmente SEDESOL), establecer Normas Técnicas Ecológicas del tipo NTE-CCA (actualmente son Normas Oficiales Mexicanas del tipo NOM-PA-CCA; estas fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación<sup>2</sup>) y condiciones particulares de descarga.

Según estimaciones oficiales aproximadamente el 90 por ciento de las descargas de aguas residuales a nivel nacional no cumplen con los límites máximos de los valores de los parámetros contaminantes fijados en las Normas Oficiales Mexicanas (del tipo NOM-PA-CCA) y por tanto ni con las condiciones particulares de descarga.

De acuerdo con lo anterior muchas plantas necesitan o pueden necesitar en el futuro de una estrategia para el manejo de sus aguas residuales y cumplir con los límites máximos permisibles.

Actualmente existen pocos ejemplos de estudio, instalación y operación de sistemas de tratamiento que tengan claramente definidos cada una de las etapas del proyecto así como una metodología que asegure la inclusión de todos los elementos para obtener una solución adecuada desde el punto de vista técnico y económico y así contribuir verdaderamente a elevar la calidad del agua residual descargada, teniendo consecuencia directamente en una mejor protección y conservación del ambiente.

Esta tesis tiene la finalidad de presentar las diferentes actividades, tareas a realizar en un proyecto de estudio, diseño, construcción y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

---

<sup>1</sup> R. L. Hector. Aspectos relevantes del derecho por el uso o aprovechamiento de los bienes de dominio público de la Nación como cuerpos receptores de aguas residuales. Boletín informativo de la sociedad Mexicana de Ingeniería Ambiental, A.C., Año 2, núm. 8, Noviembre de 1991, pp 10-12.

<sup>2</sup> Proyecto de Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental. Diario Oficial de la Federación (DOF), tercera sección, 28 de Junio de 1993, pp 1-128.

## **2. CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA**

---

Actualmente en los centros urbano-industriales, se origina una excesiva e irracional explotación de los sistemas de abastecimiento de agua superficiales y subterráneos; esta después de haberse utilizado en los muy variados usos domésticos e industriales, es muchas veces descargada directamente (sin tratamiento previo) a cuerpos receptores y a la tierra misma; ocasionado que las diversas fuentes naturales de agua presenten un alto grado de contaminación.

### **2.1 LA NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

El aumento en el conocimiento de los efectos acumulativos de la contaminación ha llevado a una preocupación general y una legislación cada vez más estricta referente a la descarga de residuos industriales líquidos, sólidos y gaseosos. Hay que pagar por el tratamiento, lo que parece a corto plazo un costo adicional e improductivo para la industria, haciendo pensar que el tratamiento del agua residual es (literalmente) dinero que se tira a la alcantarilla. El costo adicional impuesto por la legislación ambiental o la opinión pública es reflejado en el costo de virtualmente, todo producto manufacturado, pudiendo afectar realmente a la viabilidad de una planta industrial o a la capacidad de una ya instalada.

En la industria, el agua es usada como solvente, reactivo, medio de reacción, medio de transporte y medio de transferencia de calor.



El descargar las aguas residuales generadas, significa disponerlas finalmente a algún tipo de cuerpo de agua. Cuando las aguas residuales no son del todo tratadas (o están tratadas en forma insuficiente), el resultado es la contaminación del cuerpo de agua.

La prevención de la contaminación de los cuerpos de agua tiene además de un valor estético, sólidas razones económicas porque el agua es una materia prima esencial para numerosos procesos industriales, lo que constituye un recurso natural vital. Por lo tanto nuestro nivel de vida, depende en gran parte de que los suministros de agua estén libres de contaminación.

## 2.2 NORMATIVIDAD AMBIENTAL EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA.

Con el objetivo de prevenir y controlar el deterioro ecológico, se han emitido una serie de Normas y Reglamento que establecen límites estrictos en cuanto a la generación de contaminantes al ambiente. En materia de agua, las Normas Oficiales Mexicanas del tipo NOM-PA-CCA, que especifican los límites máximos permisibles de los contaminantes presentes en el agua residual antes de ser descargadas, garantizando las condiciones necesarias para el bienestar de la población y la restauración y preservación del equilibrio ecológico. Las NOM's son específicas, aplicables y obligatorias para cada giro industrial.

Cuando las autoridades de ecología (Distrito Federal, Estatales o municipales) identifican descargas industriales que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles, causan efectos negativos en el bienestar de la población, equilibrio ecológico o en plantas de tratamiento municipales, fijan condiciones particulares de descarga, de acuerdo al artículo 123 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente<sup>1</sup>, estableciendo límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos en cada una de las Normas y adicionalmente para otros no contemplados.

De acuerdo con las restricciones impuestas por la Normatividad Ambiental, casi todas las empresas industriales, pueden cumplir satisfactoriamente con la calidad requerida de sus aguas residuales, mediante un tratamiento de nivel secundario (biológico o fisicoquímico)<sup>2</sup>. En algunos casos basta con dar un pretratamiento al agua residual antes de descargarla.

<sup>1</sup> Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. 28 de Enero de 1988.

<sup>2</sup> Algunos ejemplos de tratamientos secundarios, son: lodos activados, lagunas extendidas, biodiscos, tratamiento primario-coagulación-floculación, tratamiento químico, etc.

El objetivo de cualquier proceso de tratamiento es básicamente el mismo: remover ciertos contaminantes legislados o de interés particular, para eliminar los efectos nocivos en el ambiente o el proceso subsecuente donde se reutilice.

### 2.3 LA NECESIDAD DE UN USO ADECUADO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA.

La gran cantidad de agua que demanda la industria, queda demostrada en algunos requerimientos "comunes" de agua de procesos químicos claves<sup>3</sup>. La carga tanto en los suministros de agua como en las instalaciones de descarga de aguas residuales es excesiva por la tendencia de la industria y de la población a concentrarse en determinadas localidades. Se puede presentar como ejemplo la Ciudad de México en donde si no se implementan formas efectivas de conservación de agua, se tendrán en futuro cercano problemas muy graves en el suministro de agua (mas graves aún que la contaminación del aire).

La demanda de suministros externos de agua en la industria, se reduce utilizando sistemas de enfriamiento de circuito cerrado, utilizando agua sólo para compensar las pérdidas por fugas y evaporación; así como la optimización del uso del agua en el proceso productivo. Una correcta administración del agua (incluyendo el tratamiento y la reutilización), permite ahorros en la compra de agua de buena calidad y la independencia del proceso industrial de los suministros externos de agua.

Una investigación dentro de la planta industrial (Auditoría de usos del agua) mostrará áreas donde se pueden lograr importantes reducciones en el suministro de agua, mediante la reutilización de aguas completa o parcialmente tratadas procedentes de otras áreas o procesos y/o mediante la modificación del proceso industrial a fin de reducir los requerimientos de agua y de la carga contaminante generada. Cualquier contaminante puede virtualmente eliminarse del agua, si se utilizan los procesos de tratamiento apropiados; los beneficios obtenidos justificarán el costo de remoción de contaminantes.

Una definición de "Contaminación" desde el punto de vista de ingeniería<sup>4</sup> es:

"Una condición en la que el medio o el ambiente se vuelve inadecuado para el fin al que se le destina"<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> p. ejem. La producción de una tonelada de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) necesita cerca de 20 toneladas de agua; una tonelada de sosa cáustica (NaOH) necesita de casi 80 toneladas de agua.

<sup>4</sup> WINKLER M. *Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho*, 1a. ed. México. Limusa, 1986. p. 16.

<sup>5</sup> *ibidem*, pp. 16-17.

Las implicaciones de esta definición son:

1<sup>ro</sup> La contaminación no es una condición absoluta sino que depende del medio y del fin propuesto. Por ejemplo, las cantidades de sales disueltas en el agua "dura" no dañarían la mayor parte de las tareas domésticas, pero serían perjudiciales si el agua se usa en una caldera de vapor.

2<sup>do</sup> Resulta un desperdicio de recursos técnicos y económicos tratar el agua más allá del nivel necesario para el fin destinado; esto es muy usual en la industria donde se usa a menudo agua con un grado mucho mayor de pureza de lo que realmente requiere el proceso. También se encuentra este problema al establecer las Normas Oficiales de calidad del agua residual, ya que deben basarse en evidencias de peligrosidad de los diferentes niveles de contaminantes presentes.

## 2.4 LA INGENIERIA EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA.

En los procesos de ingeniería, la consideración clave es el costo, así mismo los ingenieros ocupados en el diseño, operación y construcción de los sistemas de tratamiento de aguas, tienen la responsabilidad de utilizar la tecnología mas adecuada a un costo mínimo.

De acuerdo a lo anterior, en todo el país (México) la situación en materia de calidad de agua es muy complicada, las estimaciones oficiales determinan que aproximadamente el 90 por ciento de las descargas a nivel nacional no cumplen con la Legislación Ambiental ni con las condiciones particulares de descarga, adicionalmente el 80 por ciento de las plantas de tratamiento establecidas en el país no funcionan<sup>6</sup>. Generalmente las aguas residuales mas difíciles de tratar son las de origen industrial, en estas la cantidad y calidad dependen del proceso que las genera; los contaminantes pueden ser desde una gran variedad de materiales inorgánicos, orgánicos, hasta bacterias patógenas. En los proyectos de tratamiento de aguas residuales industriales, se realizan actividades adicionales a los involucrados en proyectos de plantas potabilizadoras o de tipo municipal, teniendo estas características que los hacen similares a proyectos de construcción de plantas industriales.

<sup>6</sup> R. L. Hector. Aspectos relevantes del derecho por el uso o aprovechamiento de los bienes de dominio público de la Nación como cuerpos receptores de aguas residuales. Boletín informativo de la sociedad Mexicana de Ingeniería Ambiental, A.C., Año 2, núm. 8, Noviembre de 1991, pp. 10-12.

### 3. ESTRATEGIA A SEGUIR EN PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

---

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre muchas, una necesidad humana<sup>1</sup>. En todo proyecto se debe establecer un orden sistemático de los distintos pasos para realizar un trabajo eficiente y efectivo para obtener resultados que permitan alcanzar los objetivos establecidos.

Un proyecto de estudio, diseño, construcción y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, consta de las siguientes tres etapas fundamentales<sup>2</sup>:

- Proyecto Básico.
- Proyecto Ejecutivo.
- Proyecto de Obra.

Cada etapa consta de actividades específicas a cumplir dependiendo del tipo de problema y las características de la industria, la figura 3.1 muestra las actividades componentes/etapa.

Para ejecutar adecuadamente estas actividades, se deben conjuntar los esfuerzos de la parte interesada y los diversos grupos de trabajo, como son:

---

<sup>1</sup> BACA U. Gabriel. *Evaluación de Proyectos*. 2a. ed. México. Mc Graw-Hill, 1990. p. 1.

<sup>2</sup> Cabe hacer notar que, los proyectos, generalmente contienen estas tres etapas fundamentales.

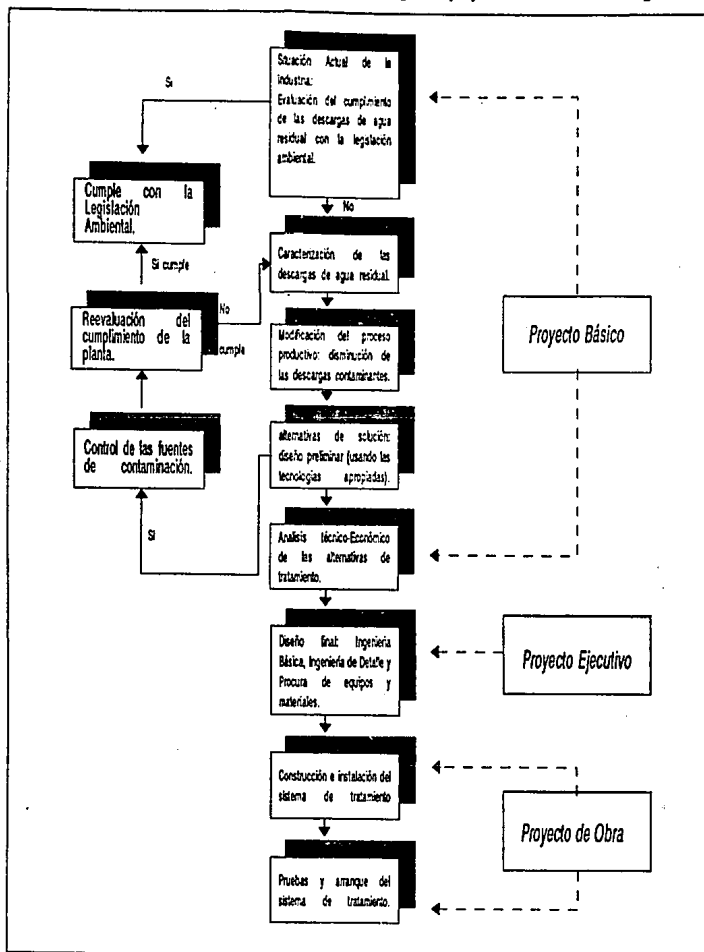


FIGURA 3.1 Etapas de un proyecto de tratamiento de aguas.

- Empresa industrial
- Proveedores de equipo.
- Consultores.
- Laboratorios y centros de investigación.
- Licenciadores de tecnología.
- Autoridades ambientales.
- Entidades crediticias y de financiamiento.

### 3.1 PROYECTO BASICO.

Las actividades de **Situación Actual** y **Estudio Económico**, tienen como objetivo identificar y delimitar el problema de la generación de aguas residuales en la industria y tener bases suficientes para proponer alternativas de solución. La identificación y análisis del problema se realiza en el estudio de **Situación Actual** de la planta industrial; comprende las siguientes actividades:

- Recolección de información.
- Definición de puntos de aforo y de caracterización de corrientes.
- Muestreo, aforo y análisis de las descargas de aguas residuales.
- Reporte de resultados analíticos.
- Cálculo de cargas contaminantes.
- Análisis de los resultados obtenidos, estudiando su relación con el proceso productivo.

En esta misma etapa se realizan las pruebas de tratabilidad, selección del proceso de tratamiento y la propuesta de alternativas de trenes de tratamiento.

Las alternativas de solución pueden consistir en: mejoras al proceso industrial, instalación de sistemas de tratamiento en puntos de generación de aguas residuales, reutilización del agua tratada y recuperación de compuestos químicos.

De las alternativas propuestas, se deben separar aquellas que merecen un análisis detallado técnico y económico así como su correspondiente estudio de **Costo-Beneficio**. El análisis de cada alternativa debe tomar en consideración factores externos adicionales como: localización de la planta industrial, clima, hidrología, recursos económicos, humanos, entre otros.

### 3.2 PROYECTO EJECUTIVO.

Sus componentes son: **Ingeniería Básica, de Detalle y Procura de equipos y materiales.** En esta etapa se emiten todos los documentos que forman parte de los libros de proyecto.

En la **Ingeniería Básica**, se establecen las bases de diseño del proyecto, basados en los resultados obtenidos del trabajo experimental (pruebas de tratabilidad y elección del proceso de tratamiento). Los principales documentos generados son: bases de diseño, lista de equipo, diagramas de flujos de proceso, hojas de datos de equipo, diagramas de tubería e instrumentación, plano de localización general, diagramas de servicios auxiliares y filosofía básica de operación.

En la etapa de **Ingeniería de Detalle** se generan los siguientes documentos: diseño y especificación a detalle de equipo y materiales de construcción, uniones entre equipos, cimentaciones, isométricos de tuberías e instrumentos, mecánica de suelos, diseño estructural de los equipos, diagramas unifilares, instrumentos y dispositivos de control.

La **Procura de equipos y materiales** comprende la planeación en tiempo y capital para realizar en el momento preciso las cotizaciones, análisis de cotizaciones, selección de equipo, elaboración de las órdenes de compra y la compra de equipos y materiales de construcción del sistema de tratamiento.

### 3.3 PROYECTO DE OBRA.

Las actividades de esta etapa son: **Construcción, Pruebas y Arranque** (puesta en operación) del sistema de tratamiento. Cada una de las actividades de la construcción deben iniciarse lo más tempranamente posible ya que un retraso en una actividad crítica tiene gran repercusión en el tiempo de ejecución del proyecto en general. Instalada la planta deben realizarse las pruebas hidrostáticas, pruebas en vacío y la puesta en marcha y estabilización del proceso de tratamiento. Cada una de estas actividades deben realizarse conforme a la programación de fechas obtenidos por los métodos de ruta crítica (PCM), PERT, etc.

## **4. LA MULTIDISCIPLINARIDAD EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA.**

---

En el control de la contaminación del agua, existe un grado de complejidad que justifica la unión de varias disciplinas para poder obtener óptimos resultados a un costo mínimo; entre los profesionales participantes de las diferentes disciplinas se encuentran Ingenieros Sanitarios, Ingenieros Químicos, Ingenieros Mecánicos, Ingenieros Electricistas, Químicos, Biólogos, Lic. en Economía, entre otros.

### **4.1 EL PAPEL DE LA INGENIERIA QUIMICA EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA.**

Históricamente, los Ingenieros Sanitarios (generalmente Ingenieros Civiles con estudios de maestría), han sido responsables de las actividades de control de la contaminación del agua, esta situación perteneció al tiempo en que la gran mayoría del agua residual descargada era (o tenía las características) de origen doméstico; como la composición de esta no variaba de un lugar a otro, los métodos de tratamiento estaban relativamente estandarizados con un limitado número de procesos y operaciones de tratamiento<sup>1</sup>.

En el presente existe una gran diversidad de procesos industriales, los cuales generan aguas residuales de una gran variedad de características, que requieren procesos de tratamiento más complejos; de igual

<sup>1</sup> RAMALHO S. R. Rubens. Introduction to *Wastewater Treatment Processes*. 2a. ed. U.S.A. Academic Press, Inc, 1983. p. 4.



manera las características de las aguas residuales domésticas han cambiado por el uso de nuevos y variados productos para el hogar.

Actualmente (en forma reciente) el Ingeniero Químico a incursionado con gran éxito en el abatimiento y control de la contaminación del ambiente (aire, agua, suelo). Por su formación tiene la capacidad de examinar los procesos internos de la industria y localizar los posibles problemas del proceso, originados por un pobre control de las condiciones de operación y que pueden ser la causa principal de la generación no controlada de aguas residuales.

La naturaleza multidisciplinaria de la Ingeniería Química es el arma principal para coordinar y ejecutar las principales actividades en el campo del abatimiento y control de la contaminación ambiental<sup>2</sup>.

## 4.2 SELECCION DEL CONSULTOR AMBIENTAL.

Las industrias generadoras de aguas residuales, que no cumplen con la calidad requerida por la legislación ambiental o con los requerimientos de calidad para su reutilización en otros procesos productivos, deben realizar los estudios necesarios para instalar un sistema de tratamiento.

Generalmente las plantas industriales, no cuentan con personal que tenga la formación y la capacidad de resolver este tipo de problemas, por lo que es frecuente necesitan la ayuda de especialistas externos; la estrategia general a seguir en esta etapa se muestra en la figura 4.1.

El representante de la planta industrial (Director, Gerente, Jefe, intendente, etc.) que decida, que grupo de consultores ambientales serán seleccionados, no debe tomar una solución muy a la ligera, seleccionando al primer proveedor de equipos o sistemas de tratamiento que encuentre, ya que puede provocar un alto costo económico y una solución no adecuada al problema.

Existen en el país una gran diversidad de consultores ambientales especialistas o con curricula académica impresionante; sin embargo la planta industrial debe seleccionar al grupo consultor ambiental que tenga la mayor experiencia en trabajos similares, así como un basto equipo de especialistas con experiencia en plantas y procesos industriales y en control y tratamiento de aguas residuales.

---

<sup>2</sup> ibidem, p. 4.

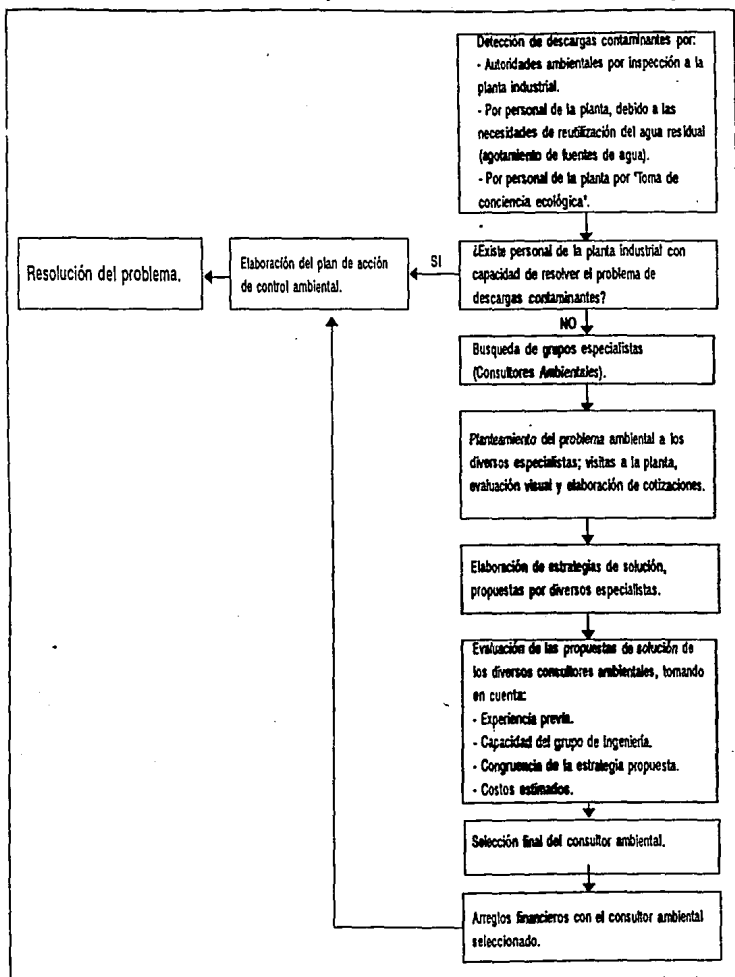


FIGURA 4.1 Selección del grupo consultor

### 4.3 RESPONSABILIDAD DEL CONSULTOR AMBIENTAL HACIA LA PLANTA INDUSTRIAL.

La planta industrial, tiene todo el derecho de pedir referencias a otras industrias en relación a la calidad de los trabajos similares realizados por los grupos consultores. El grupo consultor seleccionado debe reconocer las siguientes responsabilidades ante la planta industrial:

- a) Estudiar el problema objetivamente para determinar si:
  - La planta industrial, en realidad necesita de un sistema de tratamiento o la calidad del agua residual es adecuada sin o débilmente tratada para descargarse al sistema de alcantarillado.
  - Es posible la combinación de las diferentes descargas de agua residual, para reducir los costos de tratamiento.
  - Una mejora del proceso industrial, reduce los volúmenes y cargas contaminantes, así como el tamaño del sistema de tratamiento.
- b) Explorar todos los aspectos del problema, analizando todas las opciones de tratamiento que puedan emplearse.
- c) No dar por hecho el uso de un proceso/equipo de tratamiento, sin realizar estudio y pruebas de laboratorio.
- d) Usar la mejor tecnología disponible para el tratamiento de las aguas residuales.
- e) Contar con personal adecuado, con experiencia y capacidad de análisis de los diferentes procesos industriales y avances recientes en el área de tratamiento de aguas.
- f) Considerar los opiniones y sugerencias de los diferentes grupos de ingenieros y administradores de la planta industrial.
- g) Basar la selección final del proceso de tratamiento en resultados de pruebas de laboratorio.
- h) Negociar el problema de aguas residuales de la planta industrial, con las autoridades ambientales correspondientes, resolviendo así las diferencias y conflictos que puedan existir.

### 4.4 SERVICIOS QUE DEBE OFRECER EL CONSULTOR AMBIENTAL.

El alcance preciso de los servicios ofrecidos por el grupo consultor (firma de ingeniería) deben ser establecidos. A continuación se presenta una lista general de servicios ofrecidos.

**REPORTE PRELIMINAR.**

- Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua residual.
- Datos de aforos de corrientes.
- Situación de la empresa, con respecto a la legislación ambiental.

**ESTIMACION PRELIMINAR DE COSTOS.**

- Presentación de costos preliminares de sistemas de tratamiento de aguas.

**DEFINICION DEL PROCESO/SISTEMA DE TRATAMIENTO.**

- Elaboración de pruebas de tratabilidad.
- Análisis de alternativas de procesos/equipos de tratamiento.

**DISEÑO Y CONSTRUCCION.**

- Elaboración de la ingeniería básica, de detalle, procura de equipos y materiales.
- Construcción y puesta en operación del sistema de tratamiento.
- Asesoría permanente.

Con el alcance de los servicios establecidos, se debe elaborar un calendario de actividades así como el método de control del proyecto.

#### **4.5 LA ADMINISTRACION DEL PROYECTO.**

La programación de fechas es primordial para resolver a tiempo el problema de tratamiento de aguas. Por lo que es necesario mantener un control de lo que se está haciendo y de lo que se va a hacer, por lo que se necesitan definir los siguientes factores:

- ¿Qué meta es la que se quiere alcanzar?
- ¿Con qué elementos se cuenta para alcanzar esa meta?
- ¿Qué limitantes existen para poder alcanzarla?

Estas tres características son básicas para obtener un programa confiable que organice el trabajo de tal forma que no tome ni más tiempo ni dinero de lo estrictamente necesario; la estrategia a seguir para organizar el programa del proyecto es la siguiente:

- a) Dividir el proyecto en sus actividades constituyentes.
- b) Estimar las duraciones de las actividades.
- c) Ordenar en secuencia las actividades para formar una red.
- d) A partir de la red, obtener el programa de tratamiento de aguas residuales de la industria.

Existen varias herramientas para construir la red: **método de la ruta crítica (CPM)**, los diagramas de actividades (o de Gantt) y la **técnica de revisión y evaluación de programas (PERT)**. La base de los métodos de planeación CPM y PERT consisten en un diagrama o red de actividades que muestra la dependencia de cada actividad en la que se tiene que desarrollar una función del tiempo, del costo, de los recursos usados o de una combinación de estos elementos.

La diferencia mas general entre la Ruta Crítica y el PERT estriba en la forma de calcular los tiempos necesarios para completar el proyecto. Mientras que en el CPM se determina la duración de una actividad por medio de un tiempo único, por ejemplo: instalar la cimbra del tanque sedimentador, igual a 2 días; el método PERT usa un enfoque del tiempo distinto, se da el tiempo más optimista en que se completará el trabajo, el tiempo más pesimista en que se completará el trabajo y el tiempo mas probable, por ejemplo: cimbrar el tanque sedimentador; tiempo optimista: 1.5 días, tiempo pesimista: 3 días, tiempo más probable: 2 días.

Por lo general se emplea el CPM en los proyectos donde se ha tenido más experiencia y los tiempos de cada actividad ya están definidos. El método PERT se emplean en aquellos proyectos en donde no se conocen con certeza la duración de cada actividad y por lo tanto hay que hacer una estimación, con cierto nivel de seguridad.

Las ventajas de los métodos de planeación son múltiples, algunas de las cuales se enumeran a continuación:

- a) Se logra una planeación más lógica de las actividades que hay que desarrollar.
- b) La planeación se puede llevar a cabo con un mayor plazo de tiempo.
- c) Se prepara un calendario definitivo.
- d) Se asigna un responsable definitivo para cada actividad.
- e) Se simplifica la coordinación de un proyecto entre los distintos elementos que la integran.
- f) Se asignan los recursos necesarios para cada tarea.
- g) Se ahorra dinero debido a que no existen actividades inesperadas que hay que llevar a cabo.
- h) Se pueden comunicar las ideas de una manera gráfica más concisa.

Así en el estudio de la instalación de un sistema de tratamiento de aguas, los puntos críticos y limitantes son:

**Por parte de la planta industrial:**

- Fecha límite para el abatimiento de la contaminación.
- Interrupciones en el proceso industrial.
- Almacenamiento de productos antes de iniciar la construcción.

**Por parte del grupo consultor:**

- Resultados de análisis de agua residual, suelo.
- Resultado de las pruebas de tratabilidad.
- Disponibilidad de personas especializadas.

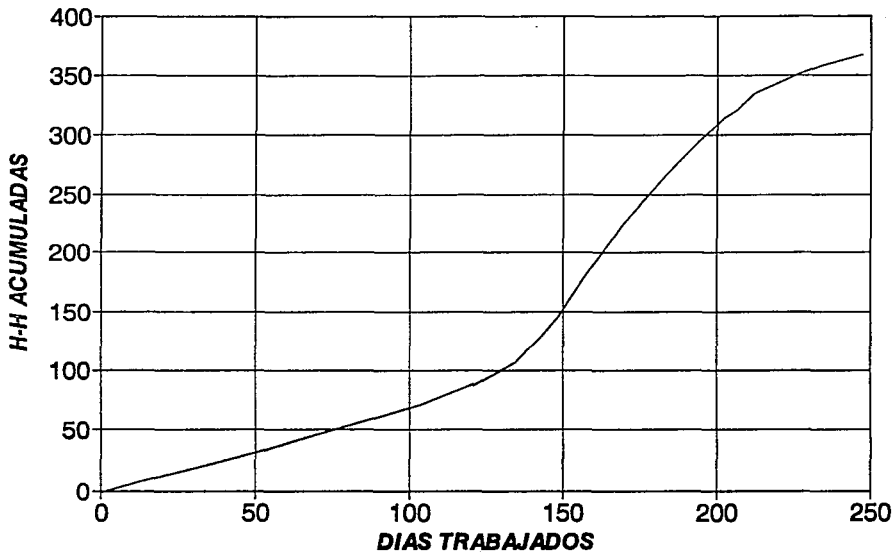
Se presenta en las figura 4.2 y 4.3, los programas de obra y diagrama de Gantt del estudio, diseño, instalación de un sistema de tratamiento de aguas en una industria.

#### **4.6. COMUNICADOS DEL PROYECTO.**

La comunicación en el proyecto es de suma importancia; cada representante debe asegurar un efectivo intercambio de ideas. Generalmente una copia de cada carta debe ser guardada en archivo para posibles aclaraciones futuras. Esto sirve para confirmar conversaciones telefónicas, de cuestionamientos y respuestas y como archivo de registro para tener una historia cronológica del proyecto. Más tarde esto puede tener un peso legal en algún juicio que pueda entablarse entre la planta industrial y el grupo consultor, por algún caso de incumplimiento.



## SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS



**FIGURA 4.3** Diagrama de Gantt



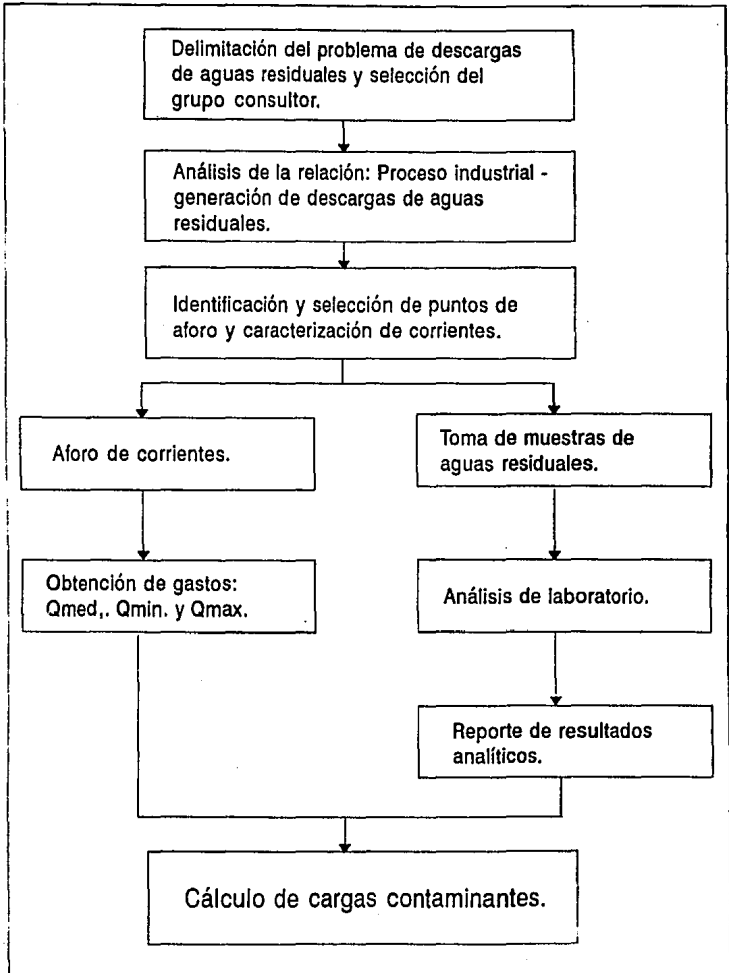
## **5. SITUACION ACTUAL DE LA PLANTA INDUSTRIAL**

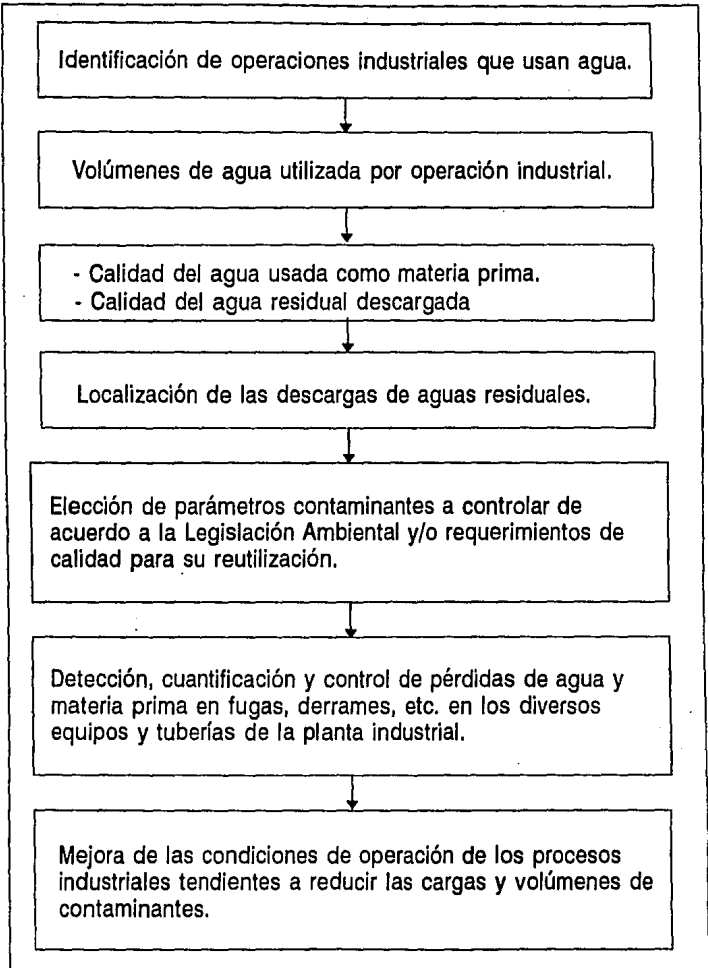
---

Definido el grupo de ingeniería con el que se va a trabajar, da comienzo la primera etapa del proyecto básico, denominada **Situación Actual** de la planta industrial. En esta se delimita el problema, así como en el campo se reúne toda la información relacionada con las características de las aguas residuales, la figura 5.1, muestra la estrategia a seguir para determinar la **Situación Actual** de la planta industrial.

Así mismo, el estudio debe empezar desde la revisión de la documentación requerida por las autoridades correspondientes (SEDESOL, CNA, DDF, y municipios). Entre los documentos se encuentran:

- Reporte de estudios previos de aguas, aire, residuos, ruido, etc.
- Registro de descarga de aguas residuales.
- Licencia de funcionamiento.
- Inventario de emisiones (encuesta industrial, cédula de identificación).
- Manifiesto de empresas generadoras de residuos peligrosos.
- Estudios de impacto ambiental.
- Estudios de riesgo.

**FIGURA 5.1 Definición de la Situación Actual.**

**FIGURA 5.2 Estudio del Agua en la Industria.**

## 5.1. DELIMITACION DEL PROBLEMA.

Para analizar y evaluar el problema, deben conocerse los aspectos de la planta relacionados con el agua, esto implica realizar un estudio detallado dentro de la planta industrial (auditoría ambiental, de proceso industrial, del uso y manejo del agua en la planta). Para esta actividad inicial se requiere de la siguiente documentos e información:

- Información bibliográfica de los procesos.
- Información particular de la industria y de sus operaciones específicas como: número de unidades de producción, días de operación, materias primas utilizadas, variaciones generadas, etc.
- Plano hidráulico y de arreglo de drenajes de la planta.
- Diagrama de flujo de proceso, remarcando las operaciones donde el agua es utilizada.
- Mapa de localización hidrológico de la planta, localización de cuerpos receptores adyacentes a la planta.
- Localización de los usuarios que contribuyan con descargas de agua residual.

Teniendo como apoyo esta información, el paso siguiente es la realización del estudio completo del agua dentro de la planta industrial, la figura 5.2 muestra las actividades a realizar.

Con los datos obtenidos hasta ahora, se puede delimitar cualitativamente el tipo de problema de las aguas residuales en la planta industrial. Así mismo con la información de cantidades de materias primas y productos manejados en el procesos industrial, es posible hacer un balance de materia en cada proceso productivo, con esto se logrará obtener una estimación de la cantidad y tipo de desechos descargados.

El balance de materia es de gran utilidad en la definición de los parámetros a analizar en las muestras de agua residual a colectar. La tabla 5.1 muestra la composición típica del agua residual de origen doméstico.

Información de gran importancia puede ser obtenida de los trabajadores de la planta industrial. Habiendo delimitado el problema y seleccionado los parámetros contaminantes a medir, la siguiente actividad es la localización de las descargas/puntos para el aforo y caracterización de corrientes.

Cabe mencionar que los parámetros a analizar y la forma de las descargas, definirán los métodos de muestreo, técnicas de análisis, preservación de muestras y las mediciones a realizar en campo.

TABLA 5.1 COMPOSICION TIPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA.

(Todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en mg/L).

Constituyente	Concentración		
	Máxima	Media	Mínima
Sólidos, totales.	1200	700	350
- Disueltos, totales.	850	500	250
- Fijos.	525	300	145
- Volátiles.	325	200	105
Suspendidos, totales.	350	200	100
- Fijos.	75	50	30
- Volátiles.	275	150	70
Sólidos sedimentables (mL/L).	20	10	5
DBO <sub>5</sub>	300	200	100
Carbón orgánico total (COT).	300	200	100
DQO	1000	500	250
Nitrógeno total (como N)	85	40	20
- Orgánico.	35	15	8
- Amoníaco libre.	50	25	12
- Nitritos.	0	0	0
- Nitratos.	0	0	0
Fósforo (total como P).	20	10	6
- Orgánico.	5	3	2
- Inorgánico.	15	7	4
Cloruros. <sup>a</sup>	100	50	30
Alcalinidad como (CaCO <sub>3</sub> ). <sup>a</sup>	200	100	50
Grasas.	150	100	50

<sup>a</sup> Los valores presentados, aumentan con la cantidad presente en el agua de suministro.Datos tomados de: Metcalf-Eddy. *Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales*. 1a. ed. (traducción al español). España. Labor, S.A. 1977. p. 241.

La tabla 5.2 presenta los contaminantes característicos de aguas residuales generadas de diferentes industrias clasificadas de acuerdo a su giro industrial.

TABLA 5.2 CONTAMINANTES CARACTERISTICOS DE AGUAS RESIDUALES GENERADOS POR DIFERENTES INDUSTRIAS CLASIFICACION DE ACUERDO CON SU GIRO.

TIPO DE INDUSTRIA	USOS DEL AGUA	CONTAMINANTES
Industria siderúrgica y de fabricación de hierro, acero y manufacturas	El agua es usada para el enfriamiento y limpieza de gases, las descargas acarrean una gran cantidad de sólidos suspendidos, que junto con la elevada temperatura afectan la calidad del agua descargada. El uso de combustibles como coque y combustóleo, suponen una forma de contaminación específica que aunque aportan cantidades pequeñas de tóxicos afectan la vida acuática de los cuerpos receptores.	En suspensión: Sólidos sedimentables, grasas y aceites, alquitranes, entre otros. En solución: Amoníaco, cianuros, fenoles, sulfuros. Otro: Temperatura.

Continuación Tabla 5.2

Industria alimenticia: Láctea, conservas, harinas, pastas, dulces, chocolates, empaquetado de café, grasas y aceites, azucarera, cervecera y vitivinícola	Son diversos los usos que se dan al agua en este tipo de industrias como: materia prima, agente de lavado, enfriamiento, calentamiento, solvente, etc. Generan efluentes residuales que contienen compuestos orgánicos que afectan los niveles de oxígeno disuelto y propician la proliferación de microorganismos.	<b>En suspensión:</b> Materia orgánica en sólidos gruesos y finos, grasas microorganismos, etc. <b>En solución:</b> Color, olor, residuos de materia orgánica, químicos tóxicos orgánicos.
Industria Química, Inorgánica Básica.	Debido a la variedad de los procesos, se tienen descargas de características variadas, con un contenido mínimo de materia orgánica. Pueden aparecer metales pesados en bajas concentraciones.	<b>En suspensión:</b> Partículas, polvos. <b>En solución:</b> Aluminio, Cadmio, Arsénico, Flúor, Hierro, Mercurio, Plomo, Cromo, etc.
Industria de Refinación del Petróleo.	La función primordial del agua, es la del enfriamiento, sin contacto; puede haber fugas o derrames de químicos que contaminen al agua, así mismo los servicios auxiliares pueden contribuir con descargas con metales pesados.	<b>En suspensión:</b> Grasas y aceites, fracciones de petróleo, partículas volátiles, etc. <b>En solución:</b> Sulfuros, mercaptanos, amoníaco y metales pesados.
Industria de Celulosa y Papel.	Este tipo de industria, consume grandes volúmenes de agua; en la industria de celulosa es básicamente una extracción de los materiales no celulósicos del medio acuoso; en la industria del papel, el agua es usada como vehículo, solvente para aditivos químicos y en servicios auxiliares. Las características tecnológicas determinan la cantidad de efluentes contaminantes.	<b>En suspensión:</b> Materia orgánica, grasas y aceites, astillas, corteza, fibra, espuma, etc. <b>En solución:</b> Materia orgánica, residuos ácidos, residuos alcalinos, salinidad, color, olor, etc.
Industria de Acabados Metálicos.	Se emplea en diversos procesos y en gran variedad de productos. Las descargas pueden provenir de baños de desengrase, enjuagues, derrames de baños agotados; los contaminantes generalmente son inorgánicos, tóxicos y agresivos.	<b>En suspensión:</b> Grasas y aceites, sales precipitadas, sólidos fijos. <b>En solución:</b> Altas concentraciones de tóxicos inorgánicos, radicales, $\text{CN}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{PbO}_4^{2-}$ ; metales como: Cr, Cu, Zn, Fe, Al, Ag, As, Cd, Pb, detergentes, etc. <b>Otros:</b> Temperatura.
Industria de Curtido de Cuero.	El agua es utilizada en la preparación y curtido de pieles se tienen altos niveles de contaminación orgánica por desperdicios de tipo animal, además se descargan diversos materiales de alta toxicidad, usados en el proceso. Generalmente se tienen corrientes ácidas y alcalinas, que deben neutralizarse antes de su vertido.	<b>En suspensión:</b> Materiales orgánicos gruesos y finos, grasas y aceites. <b>En solución:</b> Materia orgánica, álcalis, reactivos de curtido ácido, óxidos de cromo, taninos, etc. <b>Otros:</b> Temperatura.
Industria del Cemento.	Algunos de los procesos se efectúan en húmedo, dando lugar a efluentes con sólidos en suspensión e iones en solución.	<b>En suspensión:</b> Residuos de molienda. <b>En solución:</b> Metales pesados (Fe, $\text{Cr}^{IV}$ ).
Industria del Fertilizante.	Partículas disueltas y en suspensión, de residuos minerales y probablemente de metales pesados.	<b>En suspensión:</b> Partículas gruesas y finas. <b>En solución:</b> Partículas finas.
Industria de Minerales no Metálicos: Producción de materiales de mármol, asbestos, abrasivos y mosaicos.	El agua es muy importante para las operaciones de preparación, mezcla, corte, laminación y pulido. Es común contar con sistemas de recirculación a base de sedimentadores; existen descargas que transportan residuos sólidos, aditivos, colorantes, etc.	<b>En suspensión:</b> Partículas minerales gruesos y finos. <b>En solución:</b> Aditivos y colorantes.

Al final del capítulo 5 se presenta un cuestionario que puede ser aplicado a cualquier planta industrial y obtener información de gran utilidad para delimitar la Situación Actual de la planta industrial.

## 5.2 DEFINICION DE LOS PUNTOS DE AFORO Y CARACTERIZACION DE CORRIENTES.

La información obtenida hasta ahora, sirve de base para determinar los puntos de aforo y caracterización de corrientes. La obtención de los datos de aforo es importante para el diseño de las instalaciones de tratamiento, ya que se requiere del conocimiento de los gastos medio, máximo y mínimo de las descargas de agua residual.

La localización de los puntos de aforo y caracterización del agua residual, pueden ser (según sea el caso):

### AL INTERIOR DE LA PLANTA.

- En la descarga de ciertos equipos/procesos, que generen los mayores volúmenes de agua residual y/o de carga contaminante.

### AL EXTERIOR DE LA PLANTA.

- En la descarga final de la planta industrial (alcantarillado o cuerpo receptor).

## 5.3. AFORO DE CORRIENTES.

Es necesario obtener datos de los volúmenes de agua descargada por unidad de tiempo (aforo) de las descargas internas/externas de la planta industrial. Así para definir en forma cuantitativa el problema, es fundamental:

- Medir los volúmenes de agua descargada, así como las variaciones en el tiempo.
- Cantidades de contaminantes descargados, basados en resultados de análisis y gastos medidos.
- Análisis de la posibilidad de segregación de corrientes.
- Definición de los efectos producidos de las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores.

Existen una gran variedad de métodos/dispositivos para medir el gasto, la selección del mas adecuado depende de varios factores como: costo, tipo de descarga y accesibilidad al mismo, carga hidráulica disponible y características físicas y químicas del agua residual.

**Medidores en las líneas de agua influyente a la planta:** El consumo de agua de la planta industrial, puede determinarse al mismo tiempo que se realiza el eforo de las descargas de agua residual y así obtener datos para el cálculo del balance de agua en la planta. Los medidores pueden ser instalados en equipos/operaciones particulares.

**Contenedores:** El tiempo requerido para llenar un recipiente de volumen conocido, es medido. El gasto en litros por segundo (L/s) es determinado por:

$$Q = \frac{V}{t}$$

donde :                      Q = Gasto de la descarga [L/s].  
                                   V = Volumen de contenedor [L].  
                                   t = Tiempo de llenado [s].

Nota: Si el contenedor se llena en menos de 10 segundos, la precisión del método es cuestionable.

**Capacidad de la bomba y tiempo de operación:** Si el agua residual es bombeada, el caudal puede ser calculado con la capacidad de la bomba y el tiempo de operación del proceso productivo.

**Medición de la velocidad y profundidad en tuberías parcialmente llenas:** En este método, una longitud entre dos puntos de la tubería es medida y la velocidad del agua residual es obtenida entre estos dos puntos. La velocidad puede ser determinada usando pedazos de corcho o algún otro material que flote fácilmente, la profundidad del agua en la tubería es convertida a un área transversal, esto se puede realizar fácilmente utilizando tablas que relacionan estas dos variables<sup>1</sup>. El gasto es calculado por:

$$Q = [L/s] \quad \frac{\text{Distancia (m)} * \text{Área transversal (m}^2) * 1000 (L/m^3)}{\text{Tiempo (s)}}$$

Este método es impreciso y debe usarse solamente para propósitos de estimación.

<sup>1</sup> H. Perry Robert. *Chemical Engineers's Handbook*. 6a. ed. U.S.A. McGraw-Hill, Inc. 1988. p. 1-27.



**Método del color:** El empleo de colorantes para medir la velocidad de flujo en los drenajes, especialmente en la tuberías pequeñas, es uno de los métodos mas usados, mas sencillos y de mayor éxito. Se elige una sección de la tubería donde el flujo es uniforme, se arroja el colorante en el extremo superior y se determina el tiempo de llegada en el extrema inferior, con el tiempo de aparición y desaparición del colorante se puede sacar un promedio siendo este, el tiempo medio de flujo. Se utilizan con éxito diversos colorantes como trazadores como fluoresceína, rojo congo y permanganato de potasio.

**Vertedor:** Un vertedor es una placa de lámina con una abertura de forma regular a través del cual fluye el agua, las formas son regularmente rectangular y triangular.

Para tener resultados precisos, el vertedor debe ser calibrado en el lugar donde se va a utilizar, bajo las condiciones en que va a ser empleado, así mismo el vertedor debe ser delgado y ventilado en la parte inferior de la descarga.

Los vertedores deben ser dimensionados, después de haber estimado el flujo por otros métodos. Los vertedores en forma triangular, por su geometría es especialmente útil para medir gastos pequeños y de gran variación del gasto en la descarga. Los vertedores rectangulares se utilizan para medir grandes caudales de descarga.

Diferentes investigadores han asignado valores a las variables de los coeficientes de la fórmulas deducidas de los vertedores, con la finalidad de que los resultados sean compatibles con los diversos datos experimentales y aplicables a un amplio intervalo de condiciones prácticas. Existen tablas con datos de gasto contra carga hidráulica para diferentes formas de vertedores<sup>2</sup>.

**Medidor Parshall:** Este es útil en la medición de gastos en canales abiertos. Un medidor Parshall consiste en una sección convergente, una sección de paredes paralelas llamada garganta y una sección divergente. Este tipo de vertedores se indican normalmente por el ancho nominal de la garganta, mas detalles en cuanto a sus características de construcción, dimensiones, ver las referencias<sup>3,4,5</sup>.

<sup>2</sup> WILLIAMS K. Horace. *Manual de Hidráulica*. 1a. ed. (traducida al español). España. UTEHA, 1981. pp. 81-146.

<sup>3</sup> R. SCHULZ Christopher y A. OKUN Daniel. *Tratamiento de Aguas Residuales para Países en Desarrollo*. 1a. ed. México. Limusa, 1990. pp. 132-136.

<sup>4</sup> WILLIAMS K. op.cit. pp. 446, 447, 450-452.

<sup>5</sup> KANO G. Maria y MUÑOS R. Graciela. *Dimensionamiento y selección técnica-económica de procesos de tratamiento de aguas*. Tesis. Fac. de Química. México, UNAM, 1991. pp. 15-19.

**Molinetes:** Los molinetes se utilizan para la determinación precisa de las velocidades de los flujos en grandes drenajes o canales, siempre y cuando no haya suficiente materia suspendida que pueda obtener al medidor. Existe una gran diversidad de formas de realizar aforos y calibración de estos aparatos<sup>6</sup>.

**Tuberías completamente llenas:** Para medir los gastos en tuberías completamente llenas se aplican los siguientes aparatos/métodos:<sup>7</sup>

- Placa de orificio.
- Tubo venturi.
- Tubo pitot.
- Tobera.
- Medidor magnético.
- Rotámetro.

#### 5.4 MUESTREO Y ANALISIS DE CORRIENTES.

El análisis de las muestras de agua residual, se hace para identificar cualitativamente y cuantitativamente los contaminantes presentes, así como determinar cuales se encuentran en exceso y requieren tratamiento. Las descargas de agua residual son muestreadas y analizadas para determinar sus condiciones actuales y las condiciones esperadas después de un tratamiento. Cabe mencionar que los muestreos y análisis deben hacerse de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas; la referencia 36 (listada al final de esta tesis) presenta una lista detallada de estas normas.

Un programa de muestreos es necesario para obtener muestras representativas de acuerdo con los objetivos del análisis. El programa de muestreos requiere de los siguientes elementos:

- Definición de los objetivos de la caracterización.
- Selección de los parámetros.
- Establecimiento de puntos de muestreo.
- Frecuencias de muestreo.
- Toma y preservación de muestras.
- Definición de los análisis que se realizarán en campo y laboratorio.
- Forma de procesar los datos.

Otros objetivos generales en un programa de muestreo y medición incluyen:

<sup>6</sup> WILLIAMS K. op.cit. pp. 424-429.

<sup>7</sup> ibídem, pp. 419-457

- Evaluación de los niveles de referencia y tendencias de los cambios de agua.
- Vigilancia del cumplimiento de las normas de calidad del agua.
- Evaluación y optimización de los procesos de tratamiento.
- Determinación de la factibilidad técnica-económica de recuperación de productos de aguas residuales industriales.

La selección de los parámetros a analizar, debe responder a los objetivos del análisis, establecidos en la etapa de delimitación del problema.

**Muestras Compuestas:** Cuando las características del agua residual cambian considerablemente de un tiempo a otro, es necesario coleccionar muestras compuestas de la descarga para tener una representación verdadera de la concentración promedio del agua residual. Pequeñas muestras de agua residual son coleccionadas en intervalos frecuentes durante el periodo de muestreo y al final estas son mezcladas, en volúmenes proporcionales al flujo medido en la descarga, formando así la muestra compuesta. Dependiendo del tiempo operación de la planta industrial (8, 16 ó 24 horas) deben coleccionarse muestras compuestas diariamente por lo menos durante 3 días consecutivos. Las muestras compuestas pueden coleccionarse en base a:

- **Flujo:** La cantidad de muestra coleccionada debe ser proporcional al gasto de agua residual en ese mismo tiempo.
- **Tiempo:** Cada muestra es coleccionada durante un mismo intervalo de tiempo.

Las muestras compuestas pueden ser coleccionadas en forma manual y en forma automática. El volumen total muestreado depende de los requerimientos de las pruebas que se vayan a realizar en laboratorio, por lo tanto la cantidad de muestra requerida debe ser determinada antes de dar comienzo con el muestreo, la tabla 5.3 muestra un listado de cada parámetro con tiempos máximos de almacenamiento de muestras, tipos de envase, preservantes a agregar para conservar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de la muestra.

TABLA 5.3 VOLUMEN, TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y PRESERVACION DE MUESTRAS.

PARAMETROS	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO	TIPO DE ENVASE	PRESERVANTE	VOLUMEN REQUERIDO (mL)
Conductividad Materia Flotante Olor pH Temperatura del agua.  Temperatura ambiente.	-----	Plástico, Vidrio	Determinar al instante en campo.	300
Oxígeno disuelto.	-----	Vidrio especial	Determinar al instante en campo.	300
DBO <sub>5</sub>	6 horas	Plástico, vidrio	Refrigeración a 4 °C	1000
Acidez, alcalinidad, bromuros, cloro residual, color, conductividad, fósforo total, ioduros, sólidos sedimentables, SAAM, sulfitos.	24 horas	Plástico, vidrio	Refrigeración a 4 °C	1500
Cloruros, dureza, fluoruros, sílice, sólidos en todas sus formas, sulfatos.	7 días	Plástico, vidrio	Refrigeración a 4 °C	1000
Metales totales y solubles, incluyendo arsénico, mercurio y selenio.	14 días	Plástico, vidrio	HNO <sub>3</sub> a pH = 2 (5 mL/L)	200
Metales disueltos (incluyendo arsénico, mercurio y selenio)	14 días	Plástico, vidrio	Filtrar en campo, agregar HNO <sub>3</sub> a pH = 2 (5 mL/L)	200
Ortofosfatos, fósforo total disuelto.	6 horas, 3 días	Plástico, vidrio	Filtrar en campo y refrigerar a 4 °C.	200
Carbón orgánico, fosfatos hidrolizables, nitrógeno amoniacal, nitros y nitritos.	24 horas	Plástico, vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH = 2, refrigeración a 4 °C	500
DQO	7 días	Plástico, vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH = 2, refrigeración a 4 °C	300
Grasas y aceites	24 horas	Vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH = 2, refrigeración a 4 °C	300
Fenoles	24 horas	Vidrio	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a pH = 4, CuSO <sub>4</sub> 1g/L, refrigeración a 4 °C.	500
Plaguicidas	24 horas	Vidrio ambar y tapón c/teflon.	Refrigeración a 4 °C	1000
Análisis bacteriológicos.	6 horas	Vidrio esterilizado.	Refrigeración a 4 °C	200
Cianuros.	24 horas	Plástico, vidrio	NaOH a pH = 12, refrigeración a 4 °C	500
Sulfuros.	24 horas	Vidrio	Acetato de zinc 2N 2mL/L, refrigeración a 4 °C.	500

Datos tomados de: G.M. Fair, J.C. Charles y D. A. Okun. *Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*. Volumen II. 1a. ed. México. Limusa, 1971.

## 5.5. REPORTE DE RESULTADOS ANALITICOS.

Una vez que las muestras han sido tomadas, el personal responsable debe hacer ciertas observaciones y mediciones antes de enviarlas a laboratorio, estas mediciones pueden ser: apariencia, color, turbidez, olor, grasas y aceites superficiales, temperatura, pH, oxígeno disuelto, etc.

Existen muchos libros de referencia de procedimientos de análisis de agua, algunos de los cuales incluyen pruebas de control simplificadas, así como los estándares o métodos de referencia<sup>8</sup>, que indican los métodos de análisis de muestras de agua residual.

**TABLA 5.4 VALORES DE PARAMETROS CARACTERISTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE UNA FABRICA DE HILADOS DE LANA.**

EQUIPO/PROCESO	pH (Intervalo)	Sólidos totales (mg/L)	DBO (ca/L)
Desengrasado			
Jabón-Alcali:			
Tina 1	9.5-9.8	42, 116-76,950	11,900-27,700
Tina 2	10.1-10.5	16,650-32,532	2,350-7,350
Tina 3	9.7-9.8	1,052-2,406	150-400
Detergente-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
Tina 1	7.6-8.0	47,108-91,456	11,000-25,000
Tina 2	7.4-9.1	5,024-7,850	775-7,350
Tina 3	6.4-7.8	1,052-2,406	115-260
Tañido			
Usando:			
Acido acético	4.8-8.4	2,4018-5,880	1,440-3,450

**TABLA 5.5 VALORES DE PARAMETROS CARACTERISTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE UNA FABRICA CONSERVAS**

PRODUCTO	VOLUMEN POR LITRO (L)	DBO (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
Manzana		1,680-5,530	300-600
Tomate	3-100	180-4,000	140-2,000
Espárrago	70	16-100	30-182
Frijol	18-20	1,740-2,880	160-600
Betabel	27-70	1,580-7,600	740-2,220
Zanahoria	23	520-3,030	1,830
Maíz estilo crema	24-29	620-2,900	300-675
Maíz entero	25-70	1,120-6,300	300-675
Cereza	12-40	700-2,100	20-605
Durazno	1,300-2,600	1,350-2,440	600
Papa	82	1,500-5,600	400-2,500
Calabaza	20-50	1,500-6,880	785-1,960

<sup>8</sup> Los métodos para análisis aceptados por las autoridades ambientales, son los marcados en las Normas Oficiales Mexicanas, NMX-AA.

TABLA 5.6 CARACTERÍSTICAS CONTAMINANTES DE ALGUNOS QUÍMICOS ORGÁNICOS DISUELTOS.

QUÍMICO	DBO5 (Kg/Kg)	DOO (Kg/Kg)	DTO (Kg/Kg)
Acetaldehído	1.3	-----	1.82
Acido acético	0.34-0.88	1.01	1.07
Acetona	0.5-1.0	1.12	2.20
Anilina	1.5	-----	3.09
Benceno	0	0.25	3.07
Acido benzoico	1.37	1.95	1.97
Alcohol bencílico	1.6	-----	2.52
Alcohol n-butílico	1.5-2.0	1.90	2.59
Butiraldehído	1.6	-----	2.44
Tetracloruro de carbono	0	-----	0.21
Cloroformo	0.008	-----	0.33
o-Cresol	1.6	2.4	2.52
m-Cresol	1.7	2.3	2.52
p-Cresol	1.45	-----	2.52
Dibutilftalato	0.43	-----	2.24
Dietanolamina	0.10	-----	2.13
Acetato de etilo	0.6-1.0	-----	1.82
Alcohol etílico	1.0	2.0	2.1
Eter etílico	0.03	-----	2.59
Dicloroetileno	0.002	-----	0.97
Formaldehído	0.6-1.07	1.06	1.07
Acido fórmico	0.15-0.27	-----	0.35
Acido fumárico	0.65	-----	0.83
Gasolina	0.08	-----	-----
Glicerol	0.7	-----	1.56
Kerosene	0.53	-----	-----
Acido maleico	0.38	0.83	0.83
Alcohol metílico	0.6-1.1	1.5	1.5
Metil-etil-cetona	2.1	-----	2.4
Metil-fenil-cetona	0.5	-----	2.5
Nitrobenzeno	0	-----	1.95
Acido oleico	-----	2.25	2.80
Acido oxálico	0.12	-----	0.13
Fenol	1.6	-----	2.4
Acido fúlico	0.87	1.45	1.45
Acido propiónico	0.84	-----	1.51
Alcohol isopropílico	1.45	1.61	2.40
Alcohol propílico	0.47	-----	2.40
Piridina	-----	0.02	3.03
Resorcinol	1.15	-----	1.89
Acetato de sodio	0.35	-----	0.78
Oxalato de sodio	0.1	-----	0.12
Propionato de sodio	0.5	-----	1.17
Estereato de sodio	1.2-1.7	2.49	2.72
Tolueno	0	0.7	3.13
o-Toluidina	1.4	-----	3.14
p-Toluidina	1.6	-----	3.14
Xileno	0	-----	3.16

Datos tomados de: RAMOS H. Judith G. *Tratamiento de un Efluente Terciario para su Potabilización*. Trabajo monográfico de actualización. Facultad de Química, UNAM, México, 1991.

## 5.6. CALCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE.

De los resultados obtenidos en los análisis de las muestras de agua residual, se tiene los datos necesarios para calcular la carga de contaminante; las siguientes fórmulas son las mas usadas.

$$[Kg / día] = \frac{[\text{Valor del contaminante (mg/L)} \times \text{Gasto (L/s)} \times (86,500 \text{ s/día})]}{(1 \times 10^6 \text{ mg/Kg})}$$

En descargas de agua intermitentes (durante el período de operación) la siguiente fórmula debe ser usada.

$$[Kg / día] = \frac{[\text{Valor del contaminante (mg/L)} \times \text{Tiempo efectivo} \times (86,500 \text{ s/día})]}{(1 \times 10^6 \text{ mg/Kg})}$$

Para aguas residuales domésticas, la DBO<sub>5</sub> se consume durante los primeros 5 días en la proporción siguiente<sup>9</sup>, 1er día 30%, 2do día 24%, 3er día 19%, 4to día 15%, 5to día 12%. En forma aproximada 1 g de materia orgánica seca corresponde a 1 g de DBO<sub>20</sub> o 0.7 de DBO<sub>5</sub>.

## 5.7. ANALISIS DE LOS DATOS.

En el análisis de los datos, debe realizarse la comparación de los valores obtenidos de los parámetros con los límites de calidad requeridos por las Normas Oficiales Mexicanas, condiciones particulares de descarga ó calidad requerida por el proceso productivo industrial. Esto define la magnitud del problema (cuantitativamente) así como la severidad de este.

Es de gran utilidad el organizar los datos y elaborar un balance de materiales, esto se hace en un diagrama sencillo que muestre las fuentes, cantidades y calidad del agua suministrada y descargada. Es usual el tabular en base a los contaminantes que contribuye cada proceso, para determinar la factibilidad de una segregación de corrientes.

<sup>9</sup> WOLFGANG Pörschel. *Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas*. 1a. ed. España. Urmo, 1976. p. 17.

FECHA: _____	
EMPRESA: _____	
AGUA	INFLUENTE <input type="checkbox"/> EFLUENTE <input type="checkbox"/> DE LA PLANTA
MUESTRAS PREPARADAS POR: _____	
FIRMA: _____	
NOMBRE DE LOS MUESTRADORES: _____	
Hr. INICIO DE MUESTREO: _____	
Hr. FINALIZACION DE MUESTREO: _____ TIEMPO DE MUESTREO: _____	
LOCALIZACION DEL SITIO DE MUESTREO: _____	
MUESTREO	PUNTUAL <input type="checkbox"/> COMPUESTO <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> DBO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> BPC's _____ mg/l
<input type="checkbox"/> DQO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> OXIGENO DISUELTO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> SST _____ mg/l	<input type="checkbox"/> NITROGENO TOTAL _____ mg/l
<input type="checkbox"/> pH _____ (U)	<input type="checkbox"/> FOSFATO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> COLIF. TOT. _____ NMP/100ml	<input type="checkbox"/> SULFATOS _____ mg/l
<input type="checkbox"/> COLOR _____ (U) Pt-Co	<input type="checkbox"/> FLUOR _____ mg/l
<input type="checkbox"/> TEMPERATURA _____ °C	<input type="checkbox"/> CLORUROS _____ mg/l
<input type="checkbox"/> MATERIA FLOTANTE _____ P/A	<input type="checkbox"/> COBRE _____ mg/l
<input type="checkbox"/> SAAM _____ mg/l	<input type="checkbox"/> CROMO TOTAL _____ mg/l
<input type="checkbox"/> CONDUCTIVIDAD ELEC. _____	<input type="checkbox"/> CROMO HEXAVALENTE _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ALCALINIDAD _____ mg/l	<input type="checkbox"/> COBALTO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ACIDEZ _____ mg/l	<input type="checkbox"/> CADMIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> OXIGENO DISUELTO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> VANADIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> NITROGENO TOTAL _____ mg/l	<input type="checkbox"/> BARIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> BENCENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> PLOMO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ANTRACENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> NITRATOS _____ mg/l
<input type="checkbox"/> FENANTRENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> CIANUROS _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ISOFORONA _____ mg/l	<input type="checkbox"/> FSFORO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> TOLUENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> ANTIMONIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ESTERES DE AC. FTALICO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> SELENIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> FENOLES _____ mg/l	<input type="checkbox"/> FIERRO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ACRILONITRILLO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> MERCURIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> ACROLEINA _____ mg/l	<input type="checkbox"/> PLATA _____ mg/l
<input type="checkbox"/> CLORURO DE METILO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> ZINC _____ mg/l
<input type="checkbox"/> NAFTALENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> ALUMINIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> CLOROFORMO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> BORO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> TRICLOROMETANO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> BERILIO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> TRICLOROETILENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> ARSENICO _____ mg/l
<input type="checkbox"/> 2, 6 DINITROBENCENO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> SOLIDOS SEDM. _____ ml/l
<input type="checkbox"/> HEXANO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> SDT _____ mg/l
<input type="checkbox"/> GASOLINA _____ mg/l	<input type="checkbox"/> GRASAS Y ACEITES _____ mg/l
<input type="checkbox"/> GASOLEO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> TURBIDIDAD _____ mg/l
<input type="checkbox"/> COMBUSTOLEO _____ mg/l	<input type="checkbox"/> PLAGUICIDAS _____ mg/l
<input type="checkbox"/> DIESEL _____ mg/l	<input type="checkbox"/> ETERES _____ mg/l

FIGURA 5.3 Formato de análisis de agua.





## 5.8. CUESTIONARIO INFORMATIVO PARA DEFINIR LA SITUACION ACTUAL DE LA PLANTA INDUSTRIAL, EN RELACION A SUS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL.

Para la colección de los datos importantes de la información disponible de la problemática de generación y descarga de aguas residuales, es de gran importancia, el de contar con un cuestionario recopilar estos datos.

### DATOS GENERALES.

1. Nombre de la planta \_\_\_\_\_
2. Dirección \_\_\_\_\_
3. Teléfono(s) \_\_\_\_\_
4. Persona visitada \_\_\_\_\_
5. Puesto (del 4) \_\_\_\_\_
6. Gerente de la planta (si no es el 4) \_\_\_\_\_
7. Localización de la planta industrial donde existe el problema (si no es el 2) \_\_\_\_\_
8. Tipo de planta industrial (fabrica de:) \_\_\_\_\_
9. Posible punto de descarga final de las aguas residuales generadas en la planta industrial.  
 Río \_\_\_\_\_ Lago \_\_\_\_\_  
 Drenaje \_\_\_\_\_ Mar abierto \_\_\_\_\_  
 Otro (especificar) \_\_\_\_\_
10. ¿Existen industrias locales que descarguen sus aguas residuales con o sin tratamiento? (si es afirmativo dar las características del agua residual descargada) \_\_\_\_\_
11. ¿El efluente final del cuerpo receptor, puede ser descargado (o tener contacto) en una fuente de agua potable para la población? \_\_\_\_\_
13. ¿Cuál es la calidad requerida del agua residual para que pueda ser descargada al alcantarillado local?  
 \_\_\_\_\_
14. ¿Cuál es el nombre del municipio involucrado? \_\_\_\_\_
15. ¿Tiene el municipio su propia planta de tratamiento de aguas? \_\_\_\_\_
16. ¿Si es afirmativo dar el tipo y la capacidad? \_\_\_\_\_
17. ¿La planta de tratamiento municipal puede tratar sin problema las aguas residuales descargadas por la planta industrial? \_\_\_\_\_
18. ¿El municipio tiene regulaciones referentes a la calidad del agua que sea descargada al drenaje municipal? \_\_\_\_\_
19. ¿El municipio ha formulado cargos (multas) por las descargas de aguas residuales de la industria? \_\_\_\_\_
20. ¿Otras industrias descargan sus aguas residuales en el sistema de tratamiento municipal (si es afirmativo anexar los volúmenes y características del agua residual descargadas) \_\_\_\_\_
21. ¿Que Secretaría demanda el tratamiento de las aguas residuales descargadas por la industria? \_\_\_\_\_
22. ¿Tiene de la autoridad especificada, la documentación donde esta pide la calidad que requiere del agua residual? \_\_\_\_\_
23. ¿Deberán ser aprobados por la autoridad los planes y especificaciones requeridos, antes de comenzar la construcción del sistema de tratamiento? ( si es afirmativo dar detalles de los documentos y número de copias a presentar). \_\_\_\_\_

24. ¿Tiene la planta industrial fecha fijada por la autoridad para solucionar el problema? \_\_\_\_\_
25. ¿Cuenta la planta industrial con instalaciones de tratamiento? \_\_\_\_\_
26. Dar los nombres de las industrias vecinas que descarguen sus aguas residuales en el mismo punto. \_\_\_\_\_
27. ¿Se encuentra la planta industrial interesada en juntar sus aguas residuales con las de otras industrias para darles un tratamiento conjunto? \_\_\_\_\_
28. ¿La planta industrial se encuentra interesada en recuperar algún componente del agua residual? (si es afirmativo determinar la factibilidad de recuperación. Obtener toda la información posible sobre la cantidad del componente y de su valor en el mercado del componente). \_\_\_\_\_
29. ¿Está la planta industrial dispuesto a considerar las sugerencias de cambios en el proceso productivo para reducir el volumen y concentración de las aguas residuales generadas y los costos de tratamiento? \_\_\_\_\_
30. En el caso que sea necesario ¿está dispuesta la planta industrial en construir un sistema de tratamiento? \_\_\_\_\_
31. Determinar el grado de automatización requerida para el sistema de tratamiento \_\_\_\_\_

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE SERAN TRATADAS.

32. Dar la información de las características contaminantes del agua residual.

Número de descargas de agua residual \_\_\_\_\_

Gasto de cada descarga (L/s) \_\_\_\_\_

Gasto máximo de cada descarga (L/s) \_\_\_\_\_

Periodicidad de cada descarga \_\_\_\_\_

Variaciones estacionales (por días, semana, mes, etc.) \_\_\_\_\_

Temperatura \_\_\_\_\_ pH \_\_\_\_\_

Acidez \_\_\_\_\_ Alcalinidad \_\_\_\_\_

Sólidos suspendidos totales (mg/L) \_\_\_\_\_

Sólidos disueltos totales (mg/L) \_\_\_\_\_

Sólidos totales (mg/L) \_\_\_\_\_

Sólidos sedimentables (mL/L) \_\_\_\_\_

DBO<sub>5</sub> (mg/L) \_\_\_\_\_

Color (U) Pt-Co \_\_\_\_\_

Componentes tóxicos en el agua residual:

Fenoles _____	Cromo _____	Cianuro _____
Plomo _____	Aluminio _____	Cobre _____
Mercurio _____	Cadmio _____	Pesticidas _____

Otros componentes tóxicos \_\_\_\_\_

(Si la planta industrial cuenta con análisis de sus aguas residuales anexar copia).

34. ¿La planta industrial con terreno suficiente para instalar un sistema de tratamiento? \_\_\_\_\_
35. ¿La planta industrial quiere instalar su sistema de tratamiento en instalaciones ya existentes? \_\_\_\_\_
36. Distancia del área asignada para las instalaciones de tratamiento a zonas habitacionales o comerciales \_\_\_\_\_
37. La planta industrial es única en la zona? \_\_\_\_\_
38. ¿La planta industrial tiene buenas relaciones con las autoridades ambientales? \_\_\_\_\_
39. Tipo de corriente eléctrica disponible para el sistema de tratamiento.  
 Voltaje \_\_\_\_\_ Fases \_\_\_\_\_ Ciclos \_\_\_\_\_
40. Costo de la energía eléctrica (NS/KWh) \_\_\_\_\_ Cargos \_\_\_\_\_
41. ¿Existe carga disponible para cubrir las necesidades del sistema de tratamiento? \_\_\_\_\_

42. ¿Está la planta industrial interesada en producir energía del tratamiento de sus residuos? \_\_\_\_\_
43. ¿Cuáles son las fuentes de suministro de agua a la planta industrial? \_\_\_\_\_
44. Costo del agua/m<sup>3</sup> \_\_\_\_\_
45. ¿Se le da algún tipo de tratamiento (acondicionamiento) al agua de suministro? \_\_\_\_\_
46. Tipo de agua requerida por la planta industrial:
- Potable (m<sup>3</sup>/día) \_\_\_\_\_
  - Agua suavizada (m<sup>3</sup>/día) \_\_\_\_\_
  - Agua clarificada (m<sup>3</sup>/día) \_\_\_\_\_
  - Agua desmineralizada (m<sup>3</sup>/día) \_\_\_\_\_
  - Agua para enfriamiento (m<sup>3</sup>/día) \_\_\_\_\_
  - Agua para lavado (m<sup>3</sup>/día) \_\_\_\_\_
47. ¿Está la planta industrial dispuesto a reutilizar el agua residual tratada? \_\_\_\_\_
48. ¿Existe alguna objeción para la reutilización del agua en el proceso? \_\_\_\_\_
49. Anteriormente ¿la planta industrial a contratado a otros consultores para solucionar el problema?, si es afirmativo dar nombre. \_\_\_\_\_
50. ¿Qué servicios requiere el cliente que se le hagan?
- Estudio del problema \_\_\_\_\_
  - Obtener datos de caracterización de su agua residual \_\_\_\_\_
  - Muestreo, pruebas y análisis \_\_\_\_\_
  - Mediar el problema con las autoridades ambientales \_\_\_\_\_
  - Diseñar el sistema de tratamiento \_\_\_\_\_
  - Supervisar la construcción del sistema \_\_\_\_\_
  - Entrenar a los operadores del sistema de tratamiento \_\_\_\_\_
  - Preparar los manuales de operación \_\_\_\_\_
  - Supervisar el arranque del sistema de tratamiento \_\_\_\_\_
  - Hacer inspecciones periódicas \_\_\_\_\_
  - Preparar el proyecto completo y especificaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Nombre de la persona que aplicó el Cuestionario.

Firma \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Anexos: \_\_\_\_\_

- Planos:
- Diagramas:
- Documentos.

## **6. ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO**

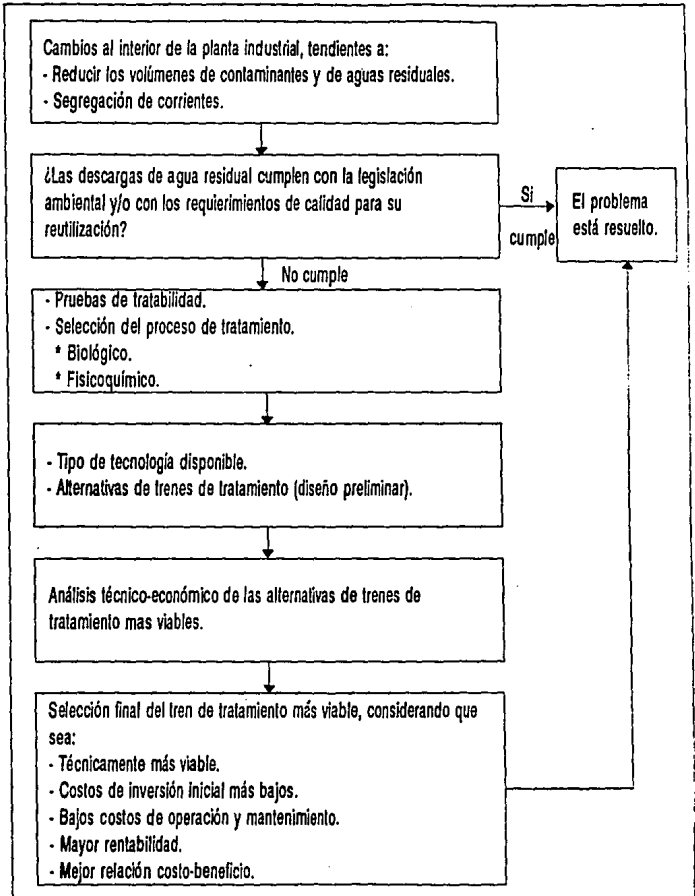
---

La información reunida en la etapa de Situación Actual, sirve de base para proponer y analizar cada una de las alternativas de solución al problema (alternativas de tratamiento). Cada alternativa de tratamiento se analizará y así se seleccionará el sistema técnica-económicamente más adecuado. La estrategia que se debe seguir, se muestra en la figura 6.1.

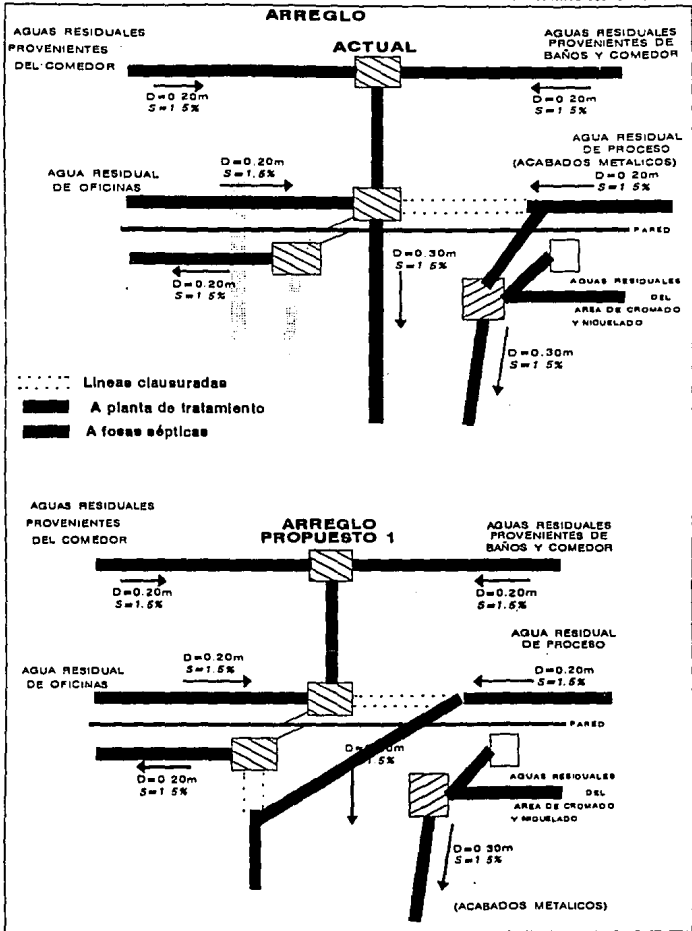
El análisis integral de los equipos/procesos industriales generadores de agua residual, pueden conducir a que se realicen modificaciones al interior de la planta industrial. Estas modificaciones deben tender a reducir la generación de contaminantes, reduciendo así las dimensiones de los sistemas de tratamiento a instalar, obteniendo los beneficios correspondientes.

### **6.1. CAMBIOS AL INTERIOR DE LA PLANTA INDUSTRIAL.**

Si después de haber analizado los datos se determina que la calidad del agua descargada por ciertos equipos/procesos industriales, no cumplen con la legislación ambiental ó los criterios de calidad establecidos, el siguiente paso lógico es la revisión de los equipos/procesos y así determinar las cantidades de contaminantes que puedan ser reducidos o recuperados para su reutilización. En este estudio se deben revisar las prácticas de uso de agua en la planta industrial, así como sus posibles mejoras.



**FIGURA 6.1 Análisis Técnico-Económico.**



**FIGURA 6.2 Análisis de segregación de corrientes.**

El análisis debe hacerse con especial cuidado, ya que si su manejo consiste en hacer un manejo sofisticado de los controles de operación, los operarios deben por tanto tener la capacidad de realizar este trabajo.

El tratamiento (control) del agua residual, en su punto de generación, es la mejor alternativa técnica-económica, ahí el contaminante está en su nivel más concentrado y más aislado, por lo tanto su tratamiento está libre de interferencias de contaminantes de otras descargas. Debe ponerse especial atención a las posibles fugas, derrames y otras fuentes que contaminen al agua; estas deben ser inmediatamente controladas y eliminadas.

Los requisitos de calidad del agua tratada son variables de una industria a otra así como de un proceso a otro de la misma industria. La tabla 6.1 presenta un resumen de los principales requerimientos de calidad para la reutilización del agua en la industria.

## 6.2 ANALISIS DE SEGREGACION DE CORRIENTES.

Cuando las descargas de agua residual generadas al interior de la planta industrial, tiene diferentes características (físicas, químicas y biológicas), que las hace incompatibles en un tratamiento conjunto, la opción viable es la segregación de estas corrientes para un tratamiento separado. El nuevo arreglo del sistema de colección debe ser considerado en los planes de tratamiento; como regla general, la segregación de corrientes divide las descargas de agua residual en tres sistemas básicos.

- Drenaje pluvial.
- Drenaje de servicios generales.
- Drenaje para aguas residuales industriales.

Así mismo las aguas residuales industriales, se subdividen en las siguientes corrientes:

- Aceitosas con un alto contenido de sólidos.
- Aceitosas libre de sólidos.
- Aguas ácidas.
- Aguas alcalinas.
- Aguas con alta carga orgánica.
- Aguas con residuos peligrosos.
- Aguas con alto contenido salino.



TABLA 6.1 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA TRATADA PARA SU REUTILIZACIÓN.

PROCESO	CARACTERÍSTICAS (Requerimientos de Calidad)
Acondicionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja temperatura.</li> <li>- Bajo contenido de ácido sulfúrico, fierro y manganeso.</li> </ul>
Elaboración de alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calidad de agua potable.</li> <li>- Fierro, manganeso y ácido sulfúrico &lt; 0.2 mg/L.</li> <li>- Inodora e insabora.</li> </ul>
Elaboración de conservas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza de CaCO<sub>3</sub> entre 25 y 75 mg/L, para verduras.</li> <li>- Fierro y manganeso &lt; 0.2 mg/L.</li> <li>- Inodora e insabora.</li> </ul>
Enfriamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza como CaCO<sub>3</sub> &lt; 50 mg/L.</li> <li>- Fierro, manganeso y ácido sulfúrico &lt; 0.5 mg/L.</li> <li>- El agua no debe ser corrosiva, ni generar el desarrollo de lama y hongos.</li> </ul>
Lavado de ropa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fierro y manganeso &lt; 0.2 mg/L.</li> <li>- Sólidos disueltos totales &lt; 200 mg/L.</li> </ul>
Fabricación de papel.	Para papel de calidad superior: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Turbiedad y color &lt; 5.0</li> <li>- Dureza como CaCO<sub>3</sub> &lt; 50 mg/L.</li> <li>- Sólidos disueltos totales &lt; 200 mg/L.</li> <li>- Fierro y manganeso &lt; 0.1 mg/L.</li> </ul>
Fabricación de rayón	Para producción de la pulpa: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Turbiedad y color &lt; 5.0</li> <li>- Dureza total como CaCO<sub>3</sub> &lt; 8 mg/L.</li> <li>- Fierro &lt; 0.05 mg/L.</li> <li>- Manganeso &lt; 0.03 mg/L.</li> <li>- Sólidos disueltos totales &lt; 200 mg/L.</li> <li>- Alcalinidad como CaCO<sub>3</sub> &lt; 50 mg/L.</li> <li>- Alcalinidad debida a hidróxidos &lt; 5 mg/L.</li> <li>- Cobre &lt; 5 mg/L.</li> <li>- Bióxido de silicio &lt; 25 mg/L.</li> <li>- Trióxido de aluminio &lt; 8 mg/L.</li> </ul> Para la producción de rayón: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausencia de fierro y manganeso.</li> <li>- Turbiedad &lt; 0.3 UTJ.</li> <li>- pH 7.8-8.4.</li> </ul>
Curtiduría.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza como CaCO<sub>3</sub> &lt; 135 mg/L.</li> <li>- Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> &lt; 135 mg/L.</li> <li>- Alcalinidad de hidróxidos como CaCO<sub>3</sub> &lt; 8 mg/L.</li> <li>- Fierro y manganeso &lt; 0.2 mg/L.</li> <li>- pH = 8.</li> </ul>
Fabricación de textiles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza total como CaCO<sub>3</sub> &lt; 20 mg/L.</li> <li>- Fierro y manganeso &lt; 0.2 mg/L.</li> <li>- Alúmina residual &lt; 0.5 mg/L.</li> <li>- Composición química del agua, estable.</li> </ul>

Datos tomados de: RAMOS H. Judith G. *Tratamiento de un Efluente Terciario para su Potabilización*. Trabajo monográfico de actualización. Facultad de Química, UNAM, México, 1991. p. 28.

Al interior de muchas plantas industriales, es necesario instalar diversos sistemas de colección, por ejemplo: instalar un tratamiento continuo para captar las descargas de concentrados de diversos procesos con grandes variaciones de flujos, para posteriormente ser tratadas en forma controladas en un sistema.

Un ejemplo clásico de sistemas de colección separados, es en una planta de acabados metálicos, donde se colectan por separado las corrientes con: 1) residuos de cianuro, 2) cromo hexavalente, 3) grasas, 4) residuos alcalinos-ácidos.

Si en la planta industrial, es necesaria la segregación de corrientes, esta debe realizarse en forma inmediata y (si es necesario) muestrear y analizar nuevamente las descargas de agua residual.

### 6.3. PRUEBAS DE TRATABILIDAD.

Las pruebas de tratabilidad, son recomendadas, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de planta piloto para determinar:

- El porcentaje de contaminantes removidos en cada uno de las operaciones de tratamiento (biológico ó fisicoquímico).
- Los parámetros reales para el dimensionamiento de los equipos de tratamiento.

Los procesos, que se simulan en laboratorio son:

- Neutralización.
- Flotación.
- Filtración.
- Sedimentación.
- Coagulación-floculación.

Pruebas biológicas simulando:

- Lodos activados.
- Filtro rociador.
- Biodiscos.
- Tratabilidad de lodos.

La tratabilidad de los lodos incluye, realizar las pruebas de:

- Sedimentabilidad.
- Espesamiento.
- Digestión aerobia.

- Digestión anaerobia.
- Centrifugación.
- Filtración al vacío.

Existe literatura especializada en las pruebas de tratabilidad<sup>1,2</sup>.

#### 6.4. SELECCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad, se selecciona el proceso de tratamiento. Este debe conjuntar las máximas eficiencias con los mínimos costos y especificaciones, considerando los parámetros siguientes:

- Tipo de agua residual a tratar: industrial, municipal o una mezcla de ambas.
- Disponibilidad de mano de obra calificada, materiales, equipo y terreno.
- Condiciones topográficas y climatológicas del lugar.
- Recursos económicos disponibles.
- Requerimientos de calidad, de la legislación ambiental, proceso industrial, etc.

El tratamiento del agua residual, consiste en la eliminación de los diversos contaminantes presentes en ella. Los procesos de tratamiento dependen de las características del agua residual, clasificándose en:

- Procesos biológicos.
- Procesos físicos.
- Procesos químicos.

##### **PROCESOS BIOLÓGICOS:**

En estos procesos se realiza la acción metabólica y de floculación de las partículas contaminantes en suspensión. Los procesos convencionales son:

- Lodos activados.
- Capa bacteriana.

<sup>1</sup> R. SCHULZ Christopher y A. OKUN Daniel. *Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo*. 1a. ed. México. Limusa, 1990. pp. 353-359.

<sup>2</sup> METCALF-EDDY. *Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales*. 1a. ed. traducida al español. España. Labor, S.A., 1977. pp. 747-773.

**PROCESOS FISICOS:**

- Cribado por rejillas, tamices o filtración mecánica.
- Sedimentación: elimina los sólidos en suspensión por su mayor densidad en relación a la del agua.
- Flotación: elimina la materia en suspensión por su menor densidad con respecto al agua.
- Evaporación: concentra los contaminantes, mediante la eliminación del agua.
- Adsorción: elimina ciertos contaminantes solubles ó de tamaño coloidal (color, cloro, fenoles, olor, materia orgánica soluble, sabor).

**PROCESOS QUIMICOS:**

- Coagulación floculación: agrupa, las partículas suspendidas en flocúlos aumentando la velocidad de sedimentación.
- Neutralización: Modifica el pH del agua residual.
- Oxidación: oxida los compuestos presentes en el agua residual (compuestos menos tóxicos).
- Reducción: reduce los compuestos presentes en agua residual (compuestos menos tóxicos), por ejemplo: la utilización de sulfato de hierro para eliminar el hierro.
- Intercambio iónico: elimina las sales disueltas en el agua residual,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^{+}$ , etc.

Desde el punto de vista de los rendimientos que se alcanzan mediante los diversos procesos de tratamiento, estos se clasifican en:

- Pretratamiento.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

Los porcentajes de remoción de los compuestos más comunes, mediante diversos procesos de tratamiento, se presentan en la tabla 6.2

**6.5 ALTERNATIVAS DE TRENES DE TRATAMIENTO.**

Definido el proceso de tratamiento, mediante una adecuada investigación de laboratorio y de campo; el siguiente paso consiste en establecer las alternativas de trenes de tratamiento. Existe el conocimiento y la tecnología disponible para el control de la contaminación a cualquier grado deseado, resta hacer la selección correcta de equipos o una combinación de estos para producir los efectos deseados. En esta etapa del proyecto, no se disponen de cantidades detalladas de materiales, requerimientos de mano de obra, por lo que el análisis se hace con datos de diseño preliminar ó de acuerdo con experiencias previas similares.

TABLA 4.3 PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES MÁS COMÚNES MEDIANTE DIVERSOS PROCESOS DE TRATAMIENTO.

PROCESO DE TRATAMIENTO	SST	EDT	DUOS	DUO	COT	Arsen	Amoníaco	Nitrato	Cobre	Magnesio	Turbidez	Color	Selenio	Virus	Cadmio en total	H. amoniacal	N-nitrato	H-nitrato	Sulfato	Fosfato	Fósforo	Fenoles	Fluoruro	Alber
Remoción %																								
Sedimentación primaria	96	14	79	68		90-99	X	8	28			99.9				17						75	46	
Lagunas aerobias	90-95		80-90	70-80		X	64	19		1	X					99.9			99.9		10	92	33	
Sedimentación secundaria	80	0-20		43	20-40	90-99			0-20	0-20	90-100	80-90	90-100	90-100	90-100		0-20	0-20	0-20		97		90-90	
Coagulación flocculación	80-90	0-20	40-70	30-60	20-40	99			0-20	0-20	90-100	80-90	90-90	90-99	90-100		0-20	0-20	0-20		30		0-20	
Filtración	100	0-20	99	91	70-80	99			0-20	97	98.4	80-90			60	0-20	0-40	0-20		91	70-80	80-90	81	
Charolado		0-20	99.5	70-80	97				0-20	0-20	98.5	90-100	90-100	90-100		0-20	0-20	99.7	99.8				0-20	
Precloración		70-80		80-90					90-100	90-100	90-90	80-90				0-20	0-20	80-90					0-20	
Adsorción en C.A.	100	0-20	99	86-98	70-80				0-20	0-20	30-60	99	20-40	20-60	97.3	0-20	0-20	80-90	99.9	99			98-100	
Desinfectación									33	99						99.5					88.9	21	41	
Desarrollo de espuma	0-20			20-40					0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20					0-20	
Chemios esteros	80-95	30	56	40-60					99	98	90-100	X	90-100	90-100	77-95	90-100	80-90	0-20			100	88-98	80-95	
Interacción esteros	0-20		43	90-100		X	67		90-100	90-100	X	20-80	20-40	0-20			90-100	0-20					20-40	
Filtración	90-95			70-90					90-100	90-100	X	X	X	X		99	70-90	0-20			70		90-100	
Ultrafiltración	100	0-60		90-100					80-80	80-90	99	X	100	100	100	X	X	0-20			X		X	
Cloración		0-20		90-100					0-20	0-20	0-20	80-90	90-100	99	90-100			70-100	80-100				0-20	
Cloraminación	0-20	40	74	90-100				0-20	0-20	0-20	60-100	90-100	90-100	100	100	100	100	100	100	100			0-20	

PROCESO DE TRATAMIENTO	Cloro	Fosfatos	Carbonatos	Sulfatos	Potasio	Sodio	Amoníaco	Arsenico	Bario	Cadmio	Cianuro	Cobre	Cromo	Fluoro	Magnesio	Manganeso	Niquel	Plata	Plomo	Selenio	Zinc	Hidrocarburos halogenados	Hidrocarburos aromáticos	
Remoción %																								
Sedimentación primaria						16			23	20	6.8	19	19	43	13	90	40	0	99.6		0			
Lagunas aerobias	96					0			100	20-43		40-70	40-80	29	27	20-75	15-60	44	30-90		31-80	64-92	90-99	
Sedimentación secundaria	0-20	20-90		0-20		20-40	90	90		80-100	X	20	90-100	90	90-100	60-90	70-90	70-90	96-99	0-20	20			
Coagulación flocculación	0-20	20-90		0-20		35-60	75-98	80		70-99	13.3	< 98	0-20	80-90	80-90	70-90	14.2	70-90	99	20-64	19			
Filtración	0-20	80-1		0-20		20-60	70-98	90		0-20	X	19	0-20	80-90	80-90	80-98	70-100	33-64	0-20	20				
Precloración	0-20	99.5		0-20		0-20	90-100	8-72		0-20	99.7	70-90	30-100	90-100	90-100	40-90	0-20	0-20	0-20	0-20				
Precloración	80	90-100		0-20		40-80	70-100	95-99	10	99.3	X	80-100	< 99.9	90-100	100	< 99.9	99	50-99	90-100	70-80	0-20			
Adsorción en C.A.	0-20	10-87		0-20		X	90-100	7		0-20	X	98.5	0-20	0-20	0-20	80-99	99.5	20-42	99	0-20	84			
Desinfectación	0-20	20-40		0-20		0-20	0-20	0-20		0-20	6.8	19.1		0-20	60-90	20-40	90	0-20	40-80	0-20	0-20	< 99		
Desarrollo de espuma																								
Chemios esteros	80-98	64-100	80-90	90-100	75-90	76-90	< 99	90-100	91-99	38-60	< 99	80-90	90-100	90-100	100	100	40-90	99.6	90-100	90-100	90-100	90-100		
Interacción esteros	80-90	0-20	88	80-100	34	> 90	90	90-100	< 99	90	90-100	X	40	90-99	99-100	100	40-80	90-95	91.7	< 99	91-99	80-100		
Filtración	90-100	40-90	60-70	87	40-43	40-43	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	60-80	90-100	90-100	90-100	70	20-90	80-100	90-100	75-100	90-100	90-100		
Ultrafiltración	0-20	60-80		0-20		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cloración	0-20	70-100		0-20		0-20	0-20	0-20		0-20	< 99	79.5	0-20	80-100	70	80	0-20						0-20	
Cloraminación	0-20	70-100		0-20		0-20	0-20	0-20		0-20	90-100	20-60	0-20	80-100	20	0-20	0-20							

La selección final del tren de tratamiento debe estar basado en un análisis técnico-económico y en la forma de financiamiento del proyecto. Así mismo el análisis técnico económico debe considerar los factores de: área disponible, tecnología disponible, costos de operación y mantenimiento. Un factor adicional es el costo beneficio que representa para la planta industrial el instalar un sistema de tratamiento. La tabla 6.3, presenta una relación de procesos de tratamiento de agua.

TABLA 6.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

CONTAMINANTES	TIPO DE TRATAMIENTO	
Sólidos gruesos	Pretratamiento	Desarenador, dilatacrador, cribado
Grasas y aceites	Pretratamiento	Sedimentación primaria.
Sólidos suspendidos	Primario	Descargasador, sedimentación, coagulación-floculación, flotación, neutralización, igualación-mezclado
pH		
Materia orgánica	Biológico secundario	Lagunas de estabilización, lagunas aeradas, filtros rociadores, lodos activados, digestión acrobica, digestión anaerobia, filtración.
Sólidos suspendidos	Biológico secundario	Biodiscos, sedimentación, lodos activados, floculación.
Sustancias disueltas tóxicas ó vallocas.	Terciario	Floculación, filtración, adsorción, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis, extracción, incineración de líquidos.
Sustancias disueltas por alteración de su estado.	Diversos	Precipitación, oxidación, reducción, agotamiento.
Microorganismos.	Desinfección	Cloración, ozonización, radiación de luz uv., destrucción química.

Información tomada de: VERGARA M. Gerardo. *Estudio de la Normatividad en el área de la Contaminación Ambiental*. Tesis. Facultad de Química. UNAM, México, p. 39.

## 6.6 SELECCION DE LA ALTERNATIVA DE TREN DE TRATAMIENTO TECNICAMENTE MAS FACTIBLE.

Los aspectos a considerar en la selección de la alternativa de tren de tratamiento técnicamente más adecuada, son:

### Técnicos:

- Cumplimiento de la legislación ambiental (límites máximos permisibles).
- Requerimientos de calidad del agua en los procesos donde será reutilizada.
- Combinación ó segregación de corrientes.

**Conocimiento de las condiciones físicas locales:**

- Punto de localización de las instalaciones de tratamiento (dentro o fuera de la industria).
- Tamaño y forma del sitio disponible.
- Restricciones físicas locales.
- Combinación de nuevas unidades con estructuras existentes.

En la selección de la alternativas más adecuadas técnicamente de los trenes de tratamiento, no debe perderse de vista los datos obtenidos al inicio del proyecto básico como: datos de aforo de corrientes, puntos de descarga, composición del agua residual y condiciones de operación del proceso. Así como de los siguientes aspectos:

**TAMAÑO, LOCALIZACION Y ARREGLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:** La distribución, disposición de los equipos y áreas de trabajo en el sistema de tratamiento, debe tomar en cuenta los requerimientos reales de diseño, operabilidad, fácil mantenimiento, y seguridad en la planta. La localización de equipos de tratamiento debe ser de tal manera, que los siguientes aspectos sean minimizados:

- Costos de mantenimiento.
- Número de operadores en la planta.
- Area del terreno.
- Costos de construcción.
- Costos de planeación futura, revisión y expansión.

Debe conservarse la distancia óptima entre equipos y demás instalaciones que garanticen el flujo del proceso de tratamiento. Para obtener una buena distribución es necesario:

- Ordenar los equipos y áreas de trabajo en la misma secuencia que se desarrollan.
- Cuidar el aprovechamiento del espacio cúbico al utilizar al máximo el área disponible.
- Toda la distribución de la planta debe tener el espacio adecuado para los operadores y sus facilidades físicas a fin de garantizar el máximo de seguridad y satisfacción.
- Flexibilidad en la distribución de la planta, tomando en cuenta variaciones de capacidad y crecimiento futuro.
- Para equipos que cuentan con partes intercambiables como sedimentadores de placas inclinadas, filtros de arena, filtros de carbón activado, biofiltros, canal de cribado y otros, se debe dejar un área suficiente disponible para mantenimiento.

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOGRAFICOS Y AMBIENTALES:** La topografía, cimentaciones y los riesgos físicos, son puntos claves en la ubicación y construcción del sistema de tratamiento de aguas; para determinar su influencia, deben realizarse estudios detallados, siendo a menudo muy costosos, las falsas economías en este rubro pueden conducir en un futuro a grandes pérdidas.

**ULTIMA DESCARGA:** El sistema de tratamiento debe empezar en el punto mas cercano a la unión de todas las descargas de aguas residuales provenientes de los procesos industriales; entre mas lejos se localice la planta de tratamiento de las descargas aumentaran los costos de conducción del agua. Si se está descargando en diferentes puntos de la red de alcantarillado o cuerpo receptor, estas descargas deben unirse para darle un tratamiento a la totalidad del agua. Estos aspectos deben complementarse por las indicaciones de la autoridad y los requerimientos del cuerpo receptor.

**FACTOR GEOGRAFICO:** Dentro de los límites de una planta, el tipo de terreno cambia de un lugar a otro, la elección final del sitio requiere de un escrutinio cuidadoso por parte de un cuerpo de expertos, debe evaluarse la topografía, las condiciones del terreno así como su resistencia.

Los costos de sedimentación aumentan mucho en suelos de baja capacidad de carga. Otro aspecto importante es determinar si el drenaje natural del terreno es bueno, además si el terreno se encuentra cerca de una corriente o masa de agua, debe estudiarse cuidadosamente el historial de las inundaciones. Si se selecciona un lugar con una pendiente adecuada, esta influirá en la disminución de los costos de bombeo y otros servicios, porque la totalidad del proceso de tratamiento se llevará a cabo por gravedad.

**COMUNICACION Y SERVICIOS AUXILIARES:** El lugar elegido debe ser de fácil acceso para la construcción e instalación de los equipos de tratamiento, preferentemente debe ser un lugar donde existan cerca los servicios auxiliares. Antes de la puesta en operación de la planta, debe conocerse en forma detallada las cargas eléctricas necesarias, así como los costos de todos los combustibles que posiblemente se usen para la operación del sistema de tratamiento.

**CLIMA Y COMUNIDAD:** La temperatura, precipitaciones, humedad, vientos, etc., son factores importantes en el diseño del sistema de tratamiento. Deben reunirse datos climatológicos correspondientes a un período de 10 a 20 años atrás, poniendo atención especial en huracanes, sismos e inundaciones. Estos fenómenos meteorológicos probables, aumentan los costos de construcción por la introducción de factores de seguridad en los mismos.



El factor de la comunidad y el entorno social que rodea a la previa instalación de un sistema de tratamiento, a menudo se pasan por alto o se juzgan muy a la ligera. El estudio de la comunidad debe empezar con un vistazo a su desarrollo histórico, el carácter de la comunidad, su exactitud general respecto a la instalación de un sistema de tratamiento de aguas.

**TIPOS DE TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO DISPONIBLE:** El tipo de tecnología utilizada dependerá de las necesidades funcionales específicas de la empresa industrial y de los recursos financieros.

Algunas pautas generales en la elección de tecnología son:

- Determinar la disponibilidad de la tecnología seleccionada.
- Prever las posibilidades de pagos de patentes, regalías, etc.
- Hasta donde sea posible, la utilización de equipo mecánico debe restringirse a lo producido en México.
- En zonas carentes de electricidad y servicios, deben preferirse los dispositivos basados en los principios hidráulicos y aprovechar la fuerza de la gravedad para efectuar las operaciones de mezclado, floculación, filtración y enfriamiento.
- Las pérdidas de carga deben reducirse a lo máximo en los casos que sean posibles.
- El grado de mecanización y automatización apropiada para aumentar la velocidad y confiabilidad de las operaciones de tratamiento.
- Deben utilizarse manufactura y materiales nacionales (de buena calidad) para reducir los costos, activar la economía de la zona y el desarrollo industrial de México.
- Definir completamente el objetivo del tratamiento, antes del diseño específico.
- Evaluar la capacidad técnica del personal disponible.

## 6.7 CARACTERISTICAS DE LOS DISEÑOS NORMALIZADOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Los métodos convencionales de ingeniería, en el diseño de un sistema de tratamiento, implica la planificación con base a un problema específico del agua residual, seguido por los cálculos preliminares y el diseño detallado de la ingeniería. Sin embargo, este método (muchas veces) no parece adecuado para la planta industrial, ya que esta requiere casi siempre de una resolución mágica de su problema, como el de instalar un equipo "X" y resolver sus problemas.

Generalmente las pequeñas plantas industriales en México, no entienden el porque de la necesidad de estudios previos de ingeniería y de análisis del proceso productivo y el como estos beneficiarían a su planta industrial. Generalmente cuando tiene un problema ambiental, requieren de una solución

instantánea para salir de paso y olvidarse para siempre de la "preocupación" ambiental. Actualmente (en México) en muchas industrias presentan problemas de no haber resuelto sus problemas ambientales a pesar de haber hecho grandes erogaciones; estos es muchas veces debido a la falta de estudios previos de ingeniería y haber comprado sin conocimiento de causa, al primer equipo (de catálogo) encontrado.

Una alternativa tentativa es adoptar procedimientos estandarizados ó normalizados para la planeación, diseño y construcción a fin de disminuir el tiempo requerido para el proyecto total, así como de su costo. Dos tipos de diseño normalizados que se han utilizado par tratar pequeños gastos de agua residual son:

- Diseños de planta paquete.
- Diseños de planta modular.

Los diseños de planta paquete se refieren a unidades compactas de tratamiento, generalmente fabricados en acero, manufacturadas totalmente en la fábrica y transportadas al sitio de ubicación del sistema de tratamiento.

Los diseños de planta modular, se refieren a unidades compactas de tratamiento, fabricadas generalmente de concreto y metal, ensambladas parcial o totalmente en el sitio de instalación del sistema de tratamiento, sin utilizar equipo grande o complicado.

En nuestro país (México), la aplicación de las plantas paquetes, puede no ser adecuada, por las siguientes razones:

- México, dispone de mano de obra local, barata y por ende los costos de construcción de la planta son menores que los que se presentan en los países desarrollados.
- La construcción en el sitio de ubicación del sistema de tratamiento, puede proporcionar empleos adicionales para la comunidad local e inspirar un sentido de participación de aquellos que contribuyen con su tiempo y esfuerzo en el proyecto.
- El uso de plantas paquetes en países de clima cálidos y húmedo, junto con productos químicos corrosivos (sulfato de aluminio, hipoclorito de sodio, etc.) requieren de atención especial en el mantenimiento preventivo.

Las plantas paquete fabricadas e instaladas en nuestro país deben ser:

- Resistentes.
- Simples de operar y permitir un acceso fácil.
- Confiables.
- Equipadas con equipo mecánico y costos de operación no complicados.

- Capaces de operar sin energía eléctrica.
- Baratas.
- Fáciles de transportar e instalar con un trabajo mínimo de construcción en el sitio de ubicación.

Aunque los diseños modulares, están sujetos a la construcción de acero y concreto, se prefiere muchas veces al concreto debido a la amplia disponibilidad de este en los países en desarrollo (incluido México).

## 6.8 SELECCION DE MATERIALES Y EQUIPO.

Para seleccionar las unidades de tratamiento, debe tenerse un íntimo conocimiento de aparatos y controles de los equipos de tratamiento disponibles. Existen consideraciones en el tipo y tamaño, las cuales son:

- Terreno disponible para el sistema de tratamiento propuesto.
- Topografía del sitio: horizontal, accidentado con fuertes pendientes, rocoso, etc.
- Disponibilidad de espacio hacia arriba.
- La posibilidad de aprovechar estructuras existentes, en la construcción de la planta.
- Tamaño de la planta.
- Preferencias del personal para el manejo de la planta.
- Tipo de bombas par líquidos, lodos, etc.
- Revestimientos requeridos para tanques, para prevenir daños por componentes químicos del influente o efluente de la planta de tratamiento.
- Costos de los tanques y otros equipos.

Las estructuras que van a contener agua deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser impermeables.
- Ser resistentes a condiciones ambientales prevaecientes a fin de evitar los daños causados por factores atmosféricos, agua subterránea, heladas, etc.
- Ser resistentes a los productos químicos usados en el tratamiento de agua.
- Proporcionar una superficie lisa y bien conformada de manera que la resistencia al flujo sea mínima.

La selección del tipo de tanque es de gran importancia en el costo final, así como en el detalle del diseño. En las plantas industriales es de práctica común usar tanques de metal para todos los propósitos, en donde en casos necesarios se aplica una protección contra la corrosión.

## 6.9 INVERSION TOTAL INICIAL EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Los costos de tratamiento del agua residual varían ampliamente dependiendo de su calidad, el proceso y el tren de tratamiento, clima, número de operaciones empleadas, condiciones físicas del sitio, costos locales de mano de obra, materiales, terreno y energía. Así los costos para la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, se dividen en costos de inversión total inicial y costos anuales de tratamiento.

### INVERSION TOTAL INICIAL

La inversión total inicial se divide en:

- Inversión inicial fija (tangible).
- Inversión inicial diferida (intangible).

#### Inversión inicial fija

- Inversión fija de capital necesario, para el sistema de tratamiento:
- Obra de proceso.
- Obra civil.
- Obra eléctrica.
- Obra mecánica.
- Tubería.
- Instrumentación.
- Otros costos fijos de proceso.

**Inversión fija de capital necesario para todos los restantes componentes del sistema que no están directamente relacionados con el tratamiento:**

- Terreno.
- Edificios destinados a proceso.
- Oficinas administrativas.
- Almacenes de laboratorio.
- Laboratorios.
- Talleres
- Bodegas
- Otras partes permanentes de la planta.

**Inversión inicial diferida:** Es inversión incluye:

- Permisos
- Asistencia técnica.
- Gastos preoperativos.
- Instalación y puesta en marcha.
- Contratos de servicios como:
  - Luz, teléfono, agua potable.

- Servicios notariales.
- Estudios de optimización del proceso de tratamiento.
- Estudios de Ingeniería.
- Capacitación de personal.
- Otros.

En la mayoría de casos el costo del terreno, incluye el precio de compra, comisiones a agentes, honorarios y gastos industriales, costos de demolición de estructuras existentes no necesarias para los fines que se pretenda dar al terreno. En los casos de costos de maquinaria y equipo deben verificarse si incluyen fletes, instalación y puesta en marcha. En la evaluación del proyecto se acostumbra presentar la lista de la inversión fija y diferida anotando los conceptos que incluyen cada partida, como se presenta a continuación:

#### **INVERSION FIJA:**

##### **Equipo comprado:**

- Todos los equipos listados en el diagrama de flujo de proceso de tratamiento.
- Partes sobrantes y equipo no instalado.
- Equipo abastecido y fuera de especificaciones.
- Costos de inflación durante el proyecto.
- Costos por fletes.
- Impuestos, seguros y derechos.
- Cargos por modificaciones durante la construcción.

##### **Instalación de equipo de proceso comprado:**

- Instalación de todo el equipo en el diagrama de flujo de proceso.
- Soportes, estructuras, pintura y recubrimientos.

##### **Instrumentación y control:**

- Instrumentación.
- Instalación y calibración.

##### **Tubería:**

- Tubería de proceso: acero al carbón, hierro fundido, aluminio, plomo, plástico, caucho y concreto reforzado.
- Soportería, juntas, válvulas y atraques.
- Recubrimientos.

##### **Equipo eléctrico y materiales:**

- Equipo eléctrico: Interruptores, motores, ductos, alambres, juntas, alimentadores, aterrizado, alambrado (instalación) y paneles de control.
- Material eléctrico de obra.

Equipos de concreto e instalaciones:

- Equipos de concreto: cimentación, habilitación de estructuras, plataformas, soportes, pasillos, escaleras, colado, rampas, caminos de acceso y elevadores.
- Instalaciones auxiliares: administración, oficinas, consultorio médico, cafetería, vestidores, subestación eléctrica, laboratorio, regaderas y sanitarios.
- Talleres de mantenimiento: electricidad, tubería, herramientas para soldado y carpintería.
- Servicios de edificios: instalación de cañerías, aire acondicionado, alumbrado, elevadores, teléfono, pintura y alarmas.

Mejoras al terreno (urbanización):

- Desarrollo del sitio: limpieza del terreno, caminos y áreas de acceso.

Instalación de servicios:

- Servicios auxiliares: vapor, agua, energía eléctrica, aire comprimido, combustible y depósito de residuos.
- Instalaciones: subestación eléctrica, compresores, almacén de combustible y estación contra incendio.
- Equipo de mantenimiento: equipo de cafetería, equipo de seguridad y médico, equipo de taller, equipo mecánico, equipo de laboratorio, equipo de vestidores, extintores de fuego y sanitarios.

Terreno:

- Medición y levantamiento de planos topográficos.
- Costo del terreno.

**INVERSION DIFERIDA:**

Ingeniería y Supervisión:

- Costos de Ingeniería: costos de diseño e ingeniería en general, dibujos, procura, comunicaciones, modelos a escala, consultas y viáticos.
- Supervisión e inspección de Ingeniería.

Gastos de construcción:

- Supervisión en la construcción.
- Vigilancia.
- Seguros.
- Servicio médico.
- Permisos, pruebas de campo y licencias especiales.
- Impuestos, seguros e intereses.

Honorarios de contratistas:

Contingencias:

## 6.10 COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

La operación diaria de una planta de tratamiento, requiere de capital en efectivo para: la compra de productos químicos, pago de salarios a operadores y los gastos diarios de mantenimiento de algunos equipos y servicios. El traslado de estos costos de operación a un costo anual, requiere de la cuantificación del costo/periodo de los siguientes elementos:

### Costos de operación (de tratamiento) directo:

- **MATERIAS PRIMAS:** Todos aquellos materiales necesarios para el tratamiento del agua residual. Estos costos incluyen fletes de compra, almacenamiento y manejo, los descuentos sobre las compras se deducen del valor de la factura de las materias primas adquiridas.
- **MANO DE OBRA DIRECTA:** (aproximadamente es el 5% de la mano de obra de la operación). Es aquella necesaria en la planta pero que no interviene directamente en el tratamiento del agua residual, en este rubro se incluyen, personal de supervisión, laboratorios, oficina y otros.
- **SERVICIOS:** Electricidad, vapor y manejo de residuos.
- **OTROS INSUMOS:** Todo proceso de tratamiento, requiere de una serie de servicios auxiliares, para su funcionamiento: combustibles, detergentes, gases industriales y otros. La lista se extenderá más, dependiendo del tipo de proceso que se requiera para producir determinada calidad de agua tratada.
- **MANTENIMIENTO:** (aproximadamente es del 2-10% capital fijo), este es un servicio que se contabiliza por separado, en virtud de las características especiales que pueda presentar, ya que se puede dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo, para fines de evaluación se considera un porcentaje del costo de adquisición de los equipos. Los costos de obra de mantenimiento y reparación incluyen:
  - Personal.
  - Productos químicos.
  - Electricidad y combustible.
  - Transporte, renta y otros costos directos.
  - Mantenimiento y reparaciones.
  - Reemplazos menores.
- **PATENTES Y DERECHOS:** (aproximadamente del 0-6% del gasto total/periodo).

### Costos de operación indirectos:

- **CARGOS POR DEPRECIACION Y AMORTIZACION:** Son costos virtuales, tienen el efecto de costo sin serlo, para calcular el monto de los cargos, se deberá utilizar los montos autorizados por la LEY DEL IMPUESTO SOBRE LA RENTA.
- **COSTOS FINANCIEROS:** Son los intereses que se deben pagar en relación con los capitales obtenidos a préstamo. Algunas veces estos costos se incluyen en los generales y de administración.

TABLA 6.4 VIDA ESTIMADA DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO Y DEPRECIACIÓN ANUAL.

CONCEPTO	VIDA ESTIMADA (AÑOS)	DEPRECIACIÓN ANUAL COMO % DEL CAPITAL
Planta de tratamiento promedio	20	5
Estación de bombeo (equipos).	10	10
Estructuras mayores.	50	2
Todo el equipo y tuberías.	10	10
Edificios	20	5
Edificios con estructuras metálicas	10-20	10-5

Datos tomados de: BESSELIEVRE, Edmund & SCHWARTZ Max. *The Treatment of Industrial Wastes*. McGraw-Hill. Tokyo. 1976, p 56.

#### Costos generales:

- **COSTOS DE ADMINISTRACION:** Son como su nombre lo indica, los costos provenientes de realizar la función de administración dentro de la planta. En un sistema de tratamiento de gran capacidad, puede contar con direcciones de planeación y desarrollo, selección de personal y finanzas.

## 6.11 EVALUACION ECONOMICA.

La finalidad del análisis económico de cada alternativa de tren de tratamiento, es determinar el beneficio real para la planta industrial, por la instalación y operación del sistema de tratamiento. Así antes de que cualquier trabajo detallado sea realizado debe realizarse un análisis de cada alternativa disponible.

A diferencia de los proyectos de plantas industriales, los proyectos de tratamiento de aguas residuales, no se basan en su rentabilidad financiera. Es por eso que es necesario escoger una solución que satisfaga las necesidades de tratamiento en los términos más económicos.

La información de que se parte para la evaluación económica, ha sido recabada en la etapa de "Situación Actual". El grado de confiabilidad de los resultados obtenidos dependerán de la certeza de la información previa. Así, en esta etapa, normalmente se deben confrontar diversas opciones de tratamiento, debiéndose seleccionar aquella que produzca un mejor rendimiento.

Existen diversos métodos de evaluación económica, que dan una base firme sobre la elección final del tren de tratamiento, siendo algunas de estos:

- Rendimiento de la inversión.
- Período de recuperación.
- Valor presente neto (VPN).
- Tasa interna de rendimiento (TIR).
- Costo-beneficio.



Todos estos tienen diferentes aplicaciones, así como sus ventajas y sus desventajas. Existe numerosa literatura que presenten a detalle los métodos mencionados<sup>1, 2, 3, 4</sup>.

El papel que desempeña la evaluación económica dentro del desarrollo global del proyecto, es fundamental, ya que puede cancelar, posponer, modificar o confirmar la elección de un tren de tratamiento específico y dar comienzo con el diseño a detalle.

## 6.12 METODOS DE ESTIMACION DE COSTOS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Uno de los principales factores en la evaluación de cualquier proyecto de tratamiento, es el de la estimación de los costos de inversión y de operación involucrados. Así, los resultados obtenidos servirán de base a la planta industrial para decidir la selección de la tecnología de tratamiento, investigación de fuentes de financiamiento, localización geográfica del sistema de tratamiento, definición del tiempo de ejecución hasta la determinación de las medidas de control de costos resultantes. Dependiendo de la etapa de desarrollo del proyecto y de la cantidad y calidad de la información disponible, la estimación de costos podrá realizarse con los siguientes grados de detalle:

- **Estimado de orden de magnitud:** El estimado de orden de magnitud, es normalmente la primera información de costos estimados. Las fuentes de información pueden ser literatura especializada o información preliminar recabada de consultores en proyectos similares. El único antecedente necesario, es la definición de la capacidad nominal preliminar que se contempla en el proyecto. El grado de precisión de este estimado es de  $\pm 40\%$ .
- **Estimado por factores:** El estimado por factores implica la preselección de tecnología y el suministro de información por parte del consultor involucrado para los equipos principales de tratamiento. La precisión que puede esperarse de este estimado es de  $\pm 30\%$ .
- **Estimado preliminar:** Este estimado, puede involucrar la adquisición condicionada de la ingeniería básica, suministrada por el consultor específico, suficiente para estimar el costo de las instalaciones de tratamiento. Normalmente los resultados de este tipo de estimado se usan como referencia en el estudio de factibilidad del proyecto y en el caso de que las conclusiones de tal estudio sean favorables para continuar el proyecto, se emplean para la aprobación de fondos para la ejecución del mismo. La precisión que puede lograrse es de  $\pm 20\%$ .

<sup>1</sup> BACA U. Gabriel. *Evaluación de Proyectos*. 2a. ed. México. Mc Graw-Hill, 1990. pp 217-272.

<sup>2</sup> H. Perry Robert. *Chemical Engineers' Handbook*. 6a. ed. U.S.A. McGraw-Hill, Inc, 1988. section 25.

<sup>3</sup> PETERS Max S. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 3a. ed. U.S.A. McGraw-Hill, 1980. pp. 302-356.

<sup>4</sup> H.G. Thuesen. *Economía del Proyecto en Ingeniería*. 1a. ed. España. Prentice-Hall, 1980. pp. 103-226.

- **Estimado definitivo:** Para realizar el estimado definitivo, se requiere tener satisfecho lo siguiente; aprobación de la empresa industrial para efectuar el proyecto de tratamiento, compra de la tecnología, definición precisa de la ubicación del sistema de tratamiento, terminación de la ingeniería básica y definición de la ingeniería de detalle. Este estimado sirve a la planta industrial y al consultor para el control de costos en sus diversas fases. La precisión que puede alcanzarse es de  $\pm 10\%$ .
- **Estimado detallado:** El estimado detallado se prepara cuando la ingeniería de detalle está terminada, implicando un conocimiento total de los equipos y materiales requeridos así como de los servicios auxiliares. Este estimado sirve para el control de los costos del proyecto en la fase de construcción, pudiendo asignar decisiones tales como: asignación de contratos de construcción, programación diferida de algunas actividades del proyecto, estudio de alternativas adicionales para efectos de optimización, etc. La precisión que puede alcanzarse es de  $\pm 5\%$ .

En la etapa del análisis técnico-económico el diagrama de flujo del sistema de tratamiento es básico para un cálculo original del costo de capital.

El empleo de datos disponibles frecuentemente requiere de la comparación de una dimensión o capacidad a otra y del traslado de costos pasados, a valor presente y valores futuros. Así se calculan los costos de instalación y el capital total compuesto.

A continuación se presentan los diversos factores e índices que influyen en la estimación de costos:

#### VARIACION DEL COSTO DE EQUIPO CON LA DIMENSION

En la ausencia de costos de instalación reales, a menudo deben hacerse las estimaciones partiendo de los costos disponibles para una planta de tratamiento similar en otra industria, si la instalación es de una capacidad distinta. esta se puede ajustar usando la relación costo-capacidad, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_{p,v,r} = C_{p,u,r} \left[ \frac{v}{u} \right]^a$$

Donde  $C_{p,v,r}$  es el precio de compra del equipo mencionado, que tiene una dimensión o capacidad de  $v$  en el año  $r$  y  $C_{p,u,r}$  es el precio de compra del mismo tipo de equipo en el mismo año pero de capacidad o dimensión  $u$ . Se aplica un exponente de dimensión a la relación de la capacidad para relacionar el costo de una dimensión a otra; el valor del exponente más comúnmente utilizado es el de 0.6, sin embargo en varios casos el valor es diferente. En la tabla 6.5 se indican los valores de  $(a)$  para varias instalaciones de tratamiento de agua.

TABLA 6.5 VALORES DE  $\alpha$  PARA DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

INSTALACION	VALOR DE $\alpha$
Tanques de sedimentación con revestimiento	0.8-1.0
Filtros y espesadores.	0.6-0.7
Combinación de sistemas mecánicos y de sedimentación.	0.8
Sistemas de tratamiento químico.	0.6-0.7
Planta de filtros rociadores.	0.3
Planta de lodos activados.	0.3
Lagunas de estabilización.	0.5-0.6
Unidades paralelas.	0.8-1.0
Equipos de tratamiento químico.	0.6

Adaptado de diferentes referencias.

### ESCALACION DE COSTOS DE EQUIPO DEBIDO A LA INFLACION

Los cálculos de costo de capital de prediseño se fijan normalmente a partir de datos de precios antiguos. Así debido a la inflación (o en casos raros de deflación) se necesitan índices correctivos para ajustar los datos antiguos a un estado actual o futuro.

En México no se dispone de índices correctivos específicos para la instalación de plantas de proceso (en particular plantas de tratamiento), sin embargo se puede emplear con un aproximado de estimación, el índice de costos de edificación, construcción industrial, maquinaria y precios de insumos publicados por la Cámara de la Industria de la Construcción (CNIC), así como los presentados en publicaciones de análisis de costos de materiales para construcción como el BIMSA y para estimaciones muy gruesas el índice de precios al consumidor (este índice indica variaciones en la canasta básica) esta no es recomendable.

Tres de los índices más comúnmente utilizados en Estados Unidos de América para actualizar los costos son el Marshall & Stevens Equipment Cost Index, el Engineering News-Record (ENR) Index y el Chemical Engineering (CE) Planta Cost Index.

Se emplea un índice como una corriente directa a la ecuación anterior. Por ejemplo si el precio de compra de un equipo de capacidad  $u$  del año  $r$  es  $C_p, u, r$ , es el precio de compra aproximado del mismo equipo de capacidad  $v$  en el año  $s$  estará dado por:

$$C_{p, v, s} = C_{p, u, r} \left[ \frac{I_s}{I_r} \right] = C_{p, u, r} \left[ \frac{v}{u} \right]^a \left[ \frac{I_s}{I_r} \right]$$

Para cálculos de estudio, la escalación mediante factores de costo, presentado se considera confiable para periodos de diez años o menos.

### **FACTORES BASADOS EN EL COSTO DE LOS EQUIPOS**

A partir de un catálogo de precios de equipo básico, puede determinarse el costo de compra Cp,v,s para cada partida principal de equipo que aparezca en el diagrama de flujo de proceso de tratamiento.

Un método para calcular el costo total de la planta es añadir los precios de compra de todo el equipo del tren de tratamiento propuesto y multiplicar la suma por un factor (generalmente entre 3 y 5) para obtener un costo general de la planta. Este número conocido, por el nombre de su autor como factor de Lang, depende principalmente de la naturaleza del proceso. Por ejemplo en instalaciones con equipo de tratamiento muy caro y de instalación relativamente barata, el factor de Lang es pequeño; en plantas de tratamiento donde la instalación de equipos, instrumentos y líneas es cara, el factor de Lang es grande.

En la tabla 6.6 se presentan los valores de Lang para diversas instalaciones de tratamiento.

**TABLA 6.6 FACTORES DE LANG PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

TIPOS DE INSTALACIÓN	FACTOR DE LANG
Equipos de tratamiento simple, tales como: Filtros, centrífugas, tanques, fosas, instrumentación mínima, tubería simple, sin edificios.	1.5-2.5
Equipos de tratamiento de complejidad media, incluyendo clarificadores, espesadores, filtros, tanques, floculadores, aeradores, instrumentación y tuberías y edificios.	3.0
Instalaciones de tratamiento de tipo química, sistemas de varias etapas, componentes importantes de bombas y tuberías, instrumentación compleja, costos de edificios significativos.	4.0-5.0
Unidades de tratamiento especiales, etapas de desarrollo, tecnología de tratamiento compleja, instrumentación muy compleja.	6.0

Guthrie Kenneth M.<sup>5</sup> propuso el uso de "factores módulo", los cuales varían con el tipo de equipo. Dado que su técnica es segura, directa y relativamente fácil de emplear, se recomienda utilizarlo ya que este método es eficiente para sintetizar factores de Lang específicos en los procesos de tratamiento donde se quiera considerar.

El uso de este modelo posibilita la incorporación de ajustes individuales, tales como el costo de la mano de obra local, variaciones en la instalación y situaciones específicas de los costos indirectos.

<sup>5</sup> GUTHRIE K.M., "Capital Cost Estimating", Chem. Eng., March 24, 1969, pp 114-142.

**FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VARIACION DE COSTOS**

Los factores principales que influyen en la variación de los costos en las estimaciones de plantas múltiples o a nivel de la totalidad de la industria son:

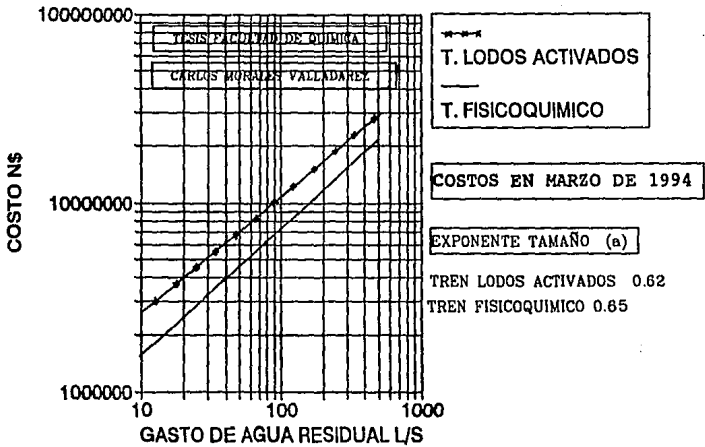
- Diferencia en procesos y aguas residuales.
- Diferencia entre el control y el tratamiento de residuos.
- Tamaño de la planta y estructura de la capacidad.
- Localización geográfica.
- Características del terreno.
- Limitaciones de espacio.
- Edad de la planta.
- Política de la compañía.
- Factores legales.

***DATOS DE COSTO***

La figura 6.2, presenta una gráfica que muestran la inversión total inicial para diversos trenes de tratamiento de aguas residuales.

Todas las capacidades están en L/s. El nuevo peso mexicano (N\$) es la unidad de precio (1994). La gráfica se construyó a partir de la información contenida en diferentes referencias y datos obtenidos de fabricantes de equipo. Se considera que la gráfica es segura para estimados de diseño preliminar. El empleo para estimados más rigurosos se hacen a riesgo del que las aplique.

## INVERSION TOTAL INICIAL (no incluye el costo del terreno)



**FIGURA 6.3** Gráfica de curvas de costos

## 7. INGENIERIA BASICA

---

La Ingeniería Básica del proyecto, es aquella que tiene que ver con el arreglo general del sistema de tratamiento y especificaciones generales. En esta etapa, se elaboran una serie de documentos a partir de la tecnología propuesta para el diseño del equipo e instalaciones necesarias de la planta.

Estos documentos comprenden fundamentalmente la ingeniería de proceso de tratamiento, así como la información necesaria para permitir diseñar un sistema, operable, seguro y controlable. A continuación se presenta una lista mínima de los documentos emitidos durante esta etapa<sup>1, 2</sup>:

- Bases de diseño.
- Criterios de diseño.
- Balance de materia.
- Descripción detallada del proceso de tratamiento.
- Diagramas del proceso de tratamiento, donde se incluyan balances de materia y energía, condiciones de operación (gastos, temperaturas, composición y presión).
- Lista de equipos principales de tratamiento.
- Hojas de datos de equipos principales de tratamiento.
- Diagrama de tubería e instrumentación de equipos (preliminar).
- Arreglo general de la planta.
- Requerimientos de productos químicos de tratamiento.
- Requerimientos de servicios auxiliares.
- Filosofía básica de operación.

<sup>1</sup> LOZANO R. Leticia. *Administración de proyectos*. (cuadernos de posgrado). División de estudios de Posgrado, Facultad de Química. UNAM. México. 1985, p. 118.

<sup>2</sup> CORZO Miguel A. *Introducción a la Ingeniería de Proyectos*. 1a. ed. México. Limusa, 1990. pp 89, 187 y 188.

La Ingeniería Básica total, se efectúa una vez que se tengan todos los datos necesarios que permitan realizar cada actividad de esta fase.

## 7.1 BASES DE DISEÑO.

Las bases de diseño, fijan los lineamientos del diseño de la planta de tratamiento de aguas. Contiene la información proporcionada por el cliente, en coordinación con el grupo de ingeniería, relativa a los siguientes puntos:

- Generalidades sobre la planta de tratamiento.
- Grado de automatización requerida.
- Capacidad, rendimientos y flexibilidad.
- Especificación del agua residual descargada por la industria.
- Calidad requerida del agua residual tratada para: reutilización y/o descarga final.
- Eliminación de residuos producto del tratamiento.
- Instalaciones requeridas de almacenamiento de productos químicos.
- Servicios auxiliares.
- Sistemas de seguridad.
- Condiciones climatológicas.
- Selección del sitio de tratamiento.
- Planos e información de referencia.
- Estudios de geomecánica de suelos.
- Bases de diseño para drenajes.
- Bases de diseño para equipos.
- Bases de diseño para instrumentación.
- Normas, códigos y especificaciones.
- Alcances de la ingeniería y programa de diseño e instalación del sistema de tratamiento.
- Procedimiento general de ingeniería.

En la elaboración de las bases de diseño, deben tomarse en cuenta las opiniones/requerimientos de los encargados de cada una de las secciones o departamentos componentes de la planta industrial; así se recopilan cada uno de los factores que les afectan y las características del sistema de tratamiento que se requieren. Posteriormente, si es necesario el grupo consultor debe complementar las bases de diseño.



## 7.2 CRITERIOS DE DISEÑO.

Este documento tiene como finalidad el de establecer y uniformizar la aplicación de todos los criterios a considerar<sup>3</sup>, en el diseño de los equipos de proceso de tratamiento de aguas, así como del equipo auxiliar bajo especificaciones especiales o excepcionales, en cuanto a materiales o en materia de diseño.

En el tratamiento de aguas algunos de estos lineamientos son considerados como estándares de diseño de equipo y como tal, deberán aparecer en las especificaciones generales de proceso, por lo que no es necesario mencionarlos en el documento de Criterios de Diseño, a menos que se presente una excepción en su aplicación.

Las prácticas recomendadas en esta sección, deben <sup>4</sup>cubrir tanto los aspectos generales del tratamiento, así como los parámetros particulares de los equipos.

### *Criterios de diseño generales:*

- Criterios de sobrediseño de equipo.
- Expansiones futuras de la planta industrial y de la planta de tratamiento.
- Criterios para absorber cambios en la calidad del agua residual alimentada a la planta de tratamiento.

### *Criterios de diseño específicos de algunos equipos:*

- Carga superficial máxima en sedimentadores.
- Velocidad máxima en canal de rejillas.
- Tiempo de residencia en el reactor biológico.
- Tiempo de residencia en tanque de contacto con cloro.
- Gradientes de velocidad en los tanques de floculación.
- Velocidad de filtración.
- Requerimientos especiales de materiales de construcción.
- Periodos de paros y arranques en las bombas que manejan agua residual y lodos.
- Materiales específicos.
- Condiciones especiales de operación en diversos equipos de tratamiento.
- Consideraciones específicas de diseño.

En el Apéndice A, se presentan los criterios de diseño para diferentes equipos de tratamiento.

<sup>3</sup> JONES V. James. *Engineering Design*. 1a. ed. U.S.A., Tab books Inc., 1988. pp. 98-100.

<sup>4</sup> para criterios de diseño de diferentes procesos de tratamiento ver la obra de: STRAUB Gerard P., *Practical Handbook of Environmental Control*. USA. CRC. pp. 229-363.

### 7.3 BALANCES DE MATERIA.

En el balance de materia se indican las características (y si es necesario los de energía) de las diferentes corrientes que entran y salen de los equipos de tratamiento, cada una debe referirse a las corrientes del proceso y deben contener los siguientes datos generales<sup>5</sup>:

#### *Balance de materia.*

- Flujos másicos y volumétricos.
- Composición en cada componente.

#### *Balance de energía.*

- Incluye carga térmica, para cada paso de proceso donde exista adición y remoción de calor.

#### *Propiedades termofísicas.*

- Indica todas aquellas propiedades y características del agua residual, que sean necesarias para el dimensionamiento y especificaciones de equipo, tuberías e instrumentos.

Los balances de materia y energía se realizan alrededor de cada unidad y los resultados se registran de manera ordenada, de tal modo que puedan usarse para los cálculos de diseño de renglones individuales de equipo y para el establecimiento de sus especificaciones.

Cuando en el diseño de proceso del sistema cuenta con un diagrama de flujo que se pueda entender con facilidad y con un balance de materiales y energía, se eliminan muchos errores y se puede tener a varias personas trabajando eficientemente en diversas fases del proyecto.

### 7.4 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

Antes de proceder con cualquier cálculo, es necesario establecer por escrito una base completa del diseño. Este debe incluir los gastos y características del agua residual del influente y la calidad requerida del agua residual en cada una de las etapas de tratamiento y en la descarga final; así como en los procesos en las que se va a reutilizar dentro de la industria. Simultáneamente se deben tomar, otras dos importantes decisiones: selección de factores de seguridad y fijación de la fecha en que se va a dar término al diseño del proceso.

El objetivo principal de la descripción, consiste en dar a conocer las características fundamentales del proceso de tratamiento y así facilitar la interpretación de los diagramas de flujo correspondiente.

<sup>5</sup> para ver en detalle los balances de materia y energía, referirse a la obra de HIMMELBLAU David M. *Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química*. 1a. ed. México. Ccsa. 1977, pp. 89-134, 281-363.

Básicamente, se debe incluir la información más relevante del proceso que indiquen las características y condiciones de operación de los equipos involucrados en el mismo, así como los aspectos que se consideran de utilidad para anticiparse a posibles problemas operacionales.

## 7.5 DIAGRAMAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

En esta parte se laboran los diagramas de todas y cada una de los equipos que integran el sistema de tratamiento, conforme a la alternativa seleccionada en la evaluación técnica-económica.

Así mismo se debe contar con la memoria de cálculo con los datos del proyecto debidamente justificados para la selección y dimensionamiento de cada uno de los equipos bajo las normas básicas de cada uno de los procesos de tratamiento.

El diagrama de flujo de proceso debe presentar en forma esquemática el proceso para el cual se diseñó el sistema<sup>678</sup>, que puede ser fisicoquímico, biológico o una mezcla de ambas. Aquí debe presentarse el equipo involucrado, su interrelación con los demás, clave y condiciones de operación, entre otros.

### *La información que debe contener es la siguiente:*

- Instrumentación básica de control del proceso.
- Corrientes del proceso de tratamiento, numeradas para su identificación.
- Sumario de balances de materia y si es necesario, los de energía.
- Lista de equipo con características y dimensiones de diseño.

## 7.6 LISTA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE TRATAMIENTO.

Este documento contiene el listado de los equipos que intervienen en el proceso de tratamiento y sus correspondientes servicios auxiliares. Los puntos a considerar son:

- Claves de equipos.
- Servicios de cada equipo.
- Dimensiones de cada uno de los equipos.

<sup>6</sup> LUDWING Ernest E., *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*. USA. Gulf Publishing Company, 1964. pp.3-22.

<sup>7</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para Plantas de Proceso"*. 1a. ed. México CECSA, 1973. pp. 83-100.

<sup>8</sup> ULRICH G.D., *Procesos de Ingeniería Química*. México. Interamericana. 1986. pp. 29-49.

## 7.7 HOJAS DE DATOS DE EQUIPOS PRINCIPALES DE TRATAMIENTO.

Las hojas de datos de equipo, deben contener los datos necesarios para el diseño mecánico y/o especificación de los diversos equipos de tratamiento<sup>9</sup>. Esta información consiste en datos de flujo, condiciones de entrada y salida, propiedades del agua residual manejada, recomendaciones de los materiales de construcción, capacidad, condiciones de diseño y dibujos esquemáticos con las medidas principales, entre otros. Se presentan a continuación, los datos de algunos equipos de tratamiento.

### **CANAL DE REJAS (Clave CR)**

*Servicio: cribado de la materia flotante del agua residual, en la entrada de la planta.*

- Gasto ( $q$ ) en m/s.
- Número de barras, unidades.
- Número de espacios libres, unidades.
- Longitud de la charola, m.
- Equidistancia de los orificios de la charola, mm.
- Mecanismo de movimiento de la reja.
- Diámetro de los orificios de la charola, mm.
- Claro entre barras, m.
- Espesor de las barras, m.
- Ancho de la barra, m.
- Ángulo de la reja con respecto a la horizontal, grados.
- Velocidad de aproximación, m/s.
- Altura total de la reja, m.
- Altura útil de la reja, m.
- Ancho del canal, m.
- Tirante del canal, m.
- Bordo libre del canal, m.
- Longitud del canal, m.
- Materiales de construcción, de la reja y charola.

### **CANAL DESARENADOR (Clave CD)**

*Servicio: Eliminación de arenillas y sólidos fácilmente sedimentables.*

- Gasto ( $q$ ) m/s.
- Velocidad en el desarenador, m/s.
- Diámetro mínimo de las partículas consideradas, m.
- Peso específico de la arena ( $gp$ ) adimensional.
- Velocidad de arrastre, m/s.
- Tiempo de retención, s.
- Longitud total del canal, m.
- Ancho del canal, m.

<sup>9</sup> Ibidem. pp 68-273.

- Bordo libre, m.
- Tirante, m.
- Altura del canal influente, m.
- Altura del canal efluente, m.
- Mecanismo de remoción de arenas.

#### **TANQUE SEDIMENTADOR (Clave SA)**

*Servicio: Separación de sólidos, floculos de agua residual.*

- Tipo: Alta tasa.
- Gasto: (q), m/s.
- Ancho de las placas, m.
- Espaciamiento entre placas, m.
- Area ocupada por las placas, m.
- Ancho del sedimentador, m.
- Longitud del sedimentador, m.
- Pendiente del fondo del sedimentador, %.
- Pendiente de las paredes de la tolva, %.
- Altura total del sedimentador, m.
- Mecanismos de remoción de lodos.

#### **TANQUE DE CONTACTO DE CLORO (Clave D)**

- *Servicio: Eliminación de microorganismos.*
- Gasto (q), m/s.
- Tiempo de residencia, min.
- Tirante, m.
- Bordo libre, m.
- Número de mamparas.
- Espesor de las mamparas, m.
- Separación entre mamparas, m.
- Separación en las vueltas, m.
- Mecanismos de dosificación de cloro.

## **7.8 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (PRELIMINAR).**

Estos diagramas, incluyen todos los equipos de tratamiento, válvulas, instrumentos, líneas de servicios auxiliares y las normas necesarias para la interpretación correcta de los diagramas<sup>1011</sup>, así como las

<sup>10</sup> FAIR, GEYER, OKUN., *Purificación de aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*. 1a. ed. México. Limusa. 1971, p. 706.

<sup>11</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*. 1a. ed. México. CECSA, 1973. pp. 568-619.

características más representativas, tales como dimensiones, cargas superficiales, velocidades, concentraciones, etc. También presenta el arreglo definitivo de cada uno de los equipos. Las líneas que participan en el proceso de tratamiento, se les identifica con el diámetro, servicio, número, especificaciones y se les incluyen los accesorios necesarios para su correcta operación.

Las válvulas de seguridad deben estar localizadas e identificadas, indicando su tamaño y diámetro de entrada y salida, mientras que las líneas de servicios deben localizarse y especificarse. Así mismo debe identificarse la altura tentativa de los equipos que la requieran para proceso.

## 7.9 ARREGLO GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

El plano de arreglo general de la planta, involucra el arreglo del equipo, mostrando la soportería de tubería, áreas de mantenimiento, cuartos de control y accesos, este se elabora tomando en consideración aspectos operacionales, de mantenimiento, seguridad y económico.

Este plano muestra el arreglo del sistema de tratamiento con relación a la planta industrial, se representa además la separación de los equipos; las dimensiones de las bombas, agitadores y dosificadores serán preliminares. Se indican también los límites de batería de las áreas requeridas así como la lista de equipos considerados con sus características principales.

## 7.10 REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS AUXILIARES Y AGENTES QUÍMICOS.

En la Ingeniería Básica, se deben establecer las cantidades y las características de los servicios auxiliares y productos químicos necesarios<sup>12</sup> para el sistema de tratamiento. Algunos de los productos químicos a considera son:

**Sulfato de aluminio:**  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  (alumbre): Se vende pulverizado, en forma granular o en forma de terrones, en bultos de 50 y 100 Kg. Tiene color de café claro a gris verdoso, astringente, ligeramente higroscópico, la solución al 1% tiene un pH de 3.4, tiene un peso de 960 a 1200 kg/m<sup>3</sup>. Se maneja seco en tambores metálicos y concreto y húmedo en tanques de plástico.

**Hidróxido de calcio:**  $Ca(OH)_2$  (cal apagada, cal hidratada): Está disponible en bultos de 20 Kg, es de apariencia blanca, cáustico y polvoriento e irritante, la solución saturada tiene un pH de 12.4, tiene un

<sup>12</sup> *Ibidem*, pp. 621-665.

peso de 560 a 800 Kg/m<sup>3</sup>, se maneja en materiales como manguera de hule, hierro, acero y concreto. Se debe almacenar en un lugar seco.

**Cloro:** Cl<sub>2</sub> (gas cloro, cloro líquido) gas licuado a presión presentado en cilindros de 50 y 70 Kg, gas amarillo verdoso, picante, corrosivo, mas pesado que el aire, nocivo para la salud; peso específico con respecto al aire de 2.49; líquido o gas seco manéjense con hierro sin galvanizar, cobre y acero; gas húmedo con vidrio, plata o hule endurecido.

**Sulfato férrico:** Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O y Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O (ferrifloc, ferriclear, sulfato de hierro); disponible en gránulo, en bultos de 50 Kg, tambores de 180 Kg y furgones completos; tiene un peso de 1,150 Kg/m<sup>3</sup>, tiene apariencia de café rojizo a gris rojizo, higroscópico, muy corrosivo, la dosificación al agua residual es preferentemente en seco de 120 a 290 g/L, tiempo de residencia en disolver 5 minutos; seco puede manejarse en hierro, acero y concreto, húmedo en hule y acero inoxidable, almacénese seco en recipientes herméticos.

**Sulfato ferroso:** FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (caparrosa, vitriolo verde); presente en gránulos, cristales, polvo y terrones en bultos de 50 Kg, tiene apariencia de verde a café amarillento, higroscópico muy corrosivo, se puede manejar seco en recipientes de hierro, acero y concreto, húmedo en hule y acero inoxidable.

**Hipoclorito de sodio:** NaOCl (líquido blanqueador, cloro blanqueador) líquido en garrafones de 20 a 50 litros, camiones tanque de 4900-7500 litros; es de apariencia amarillento claro, oloroso y corrosivo, relativamente estable, generalmente libre de sólidos suspendidos; tiene una concentración comercial de 12 a 15 % de Cl<sub>2</sub> disponible, debe manejarse en tanques de plástico, tanques con recubrimiento de hule, en vidrio, se debe almacenar en un lugar fresco y protegido de la luz.

Los servicios a considerar en el sistema de tratamiento de aguas son:

#### **Agua:**

- Para los procesos de lavado, pruebas de laboratorio y mantenimiento de la planta de tratamiento.

#### **Vapor:**

- Vapor de calentamiento, para los equipo y procesos de tratamiento de agua, donde se requiera mantener una determinada temperatura, así como para el mantenimiento de los equipos.

#### **Combustible:**

- Líquido.
- Gas.
- Energía eléctrica.

## 7.11 FILOSOFÍAS BÁSICAS DE OPERACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Este documento analiza el comportamiento de la planta, definiendo los lineamientos para su adecuada operación en situaciones normales y especiales. Se deben cubrir los siguientes aspectos:

**Generales:** Los análisis globales del proceso de tratamiento, mencionando su objetivo, alcance, rendimientos esperados y posibles problemas del proceso de tratamiento.

**Variables de operación y control del proceso:** Consiste en la descripción del efecto de las variables de operación en el tratamiento, indicando el funcionamiento de los controles básicos del proceso para mantener los valores de las variables dentro de los rangos de operación seleccionados.

**Operaciones anormales:** Existen varias situaciones en las cuales se pueden presentar operaciones fuera de lo normal, que:

- Dependen de la flexibilidad de la operación que se especifique en las bases de diseño, se podrán presentar condiciones anormales o especiales de operación (cambio de carga contaminante, volumen de agua a tratar, etc.).
- De acuerdo a lo establecido en los criterios de diseño, pudiendo considerarse que el sistema de tratamiento continúe operando al paro de determinados equipos, secciones o servicios del mismo.

## 7.12 OTRAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE DISEÑO

Otras características importantes en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales son<sup>13</sup>:

**Instalaciones eléctricas:** requieren generalmente del trazo de planos que muestren la unidades principales, la carga total para alumbrado y fuerza, la demanda máxima estimada y el tamaño del motor más grande. Es suficiente una sola fuente de alimentación, excepto cuando aun una breve interrupción de corriente puede tener consecuencias serias en el tratamiento. En estos casos se pueden introducir alimentadores de reserva; se puede recurrir a servicios primarios de energía (a alto voltaje) en las plantas grandes donde se encuentren operando motores de más de 200 hp. En los planos deben incluirse los transformadores y subestaciones. son comunes en los sistemas de tratamiento el servicio secundario a 440 v y el servicio trifásico de cuatro hilos a 120 V.

<sup>13</sup> FAIR, GEYER, OKUN., *Purificación de aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*. 1a. ed. México. Limusa. 1971, pp. 712-715.



**Alumbrado general:** normalmente es alumbrado directo mediante dispositivos elevados; estos no producen reflejos. Generalmente se instala alumbrado indirecto en oficinas y laboratorios. Para fines específicos, puede preferirse alumbrado directo localizado; excepto en las oficinas y laboratorios, en los que se controla la humedad y la temperatura, los dispositivos deben ser a prueba de vapor y humedad. En las secciones de servicio de los digestores y similares, los riesgos por efecto del gas requieren accesorios a prueba de explosión.

Los caminos, banquetas, escaleras, entradas a edificios, corredores, túneles y vías de paso similares deben encontrarse bien alumbrados.

**Los sistemas de abastecimiento de agua:** a la planta, se deben salvaguardar de los contraflujos en todas las partes en que se conecten a equipo hidráulico. En los sistemas duales o múltiples de agua, la red de tubería que conduce agua pura se debe proteger contra conexiones cruzadas de otras redes, como agua cruda o agua residual clorada efluente.

Entre los materiales y equipo, más comunes se emplea concreto para las construcciones. El cemento Portland tipo I, sirve para la mayoría de los propósitos, pero el tipo II se emplea cuando el concreto se encuentra expuesto a los sulfatos.

En los sistemas de tratamiento pequeños, el hierro fundido es el material común para tubería a presión; el barro vidriado, concreto o asbesto-cemento para tuberías a gravedad. Los canales abiertos de concreto se pueden cubrir con losas y emparrillados.

**Recubrimientos protectores** para las superficies metálicas que existen dentro de las unidades de operación del sistema de tratamiento que incluye la preparación de la superficie para obtener una buena unión de las capas de recubrimientos y pintura.

**Los dispositivos de seguridad** incluye la colocación apropiada de los equipos en operación y el acceso para reparaciones; escaleras inclinadas en lugar de verticales; jaulas de protección cuando se deben emplear escaleras verticales; tableros eléctricos protegidos; alumbrado y accesorios eléctricos seguros; buena iluminación; ventilación positiva en donde no se puede asegurar el desplazamiento natural del aire; espacio superior libre adecuado en todos los lugares de trabajo y de movimiento; rejas y barandales en los tanques y otros lugares peligrosos, botiquines de primeros auxilios, camillas, extintores de incendio, alarmas de gas e incendio, ventiladores portátiles, máscaras y mangueras contra gases y lámparas portátiles de emergencia.

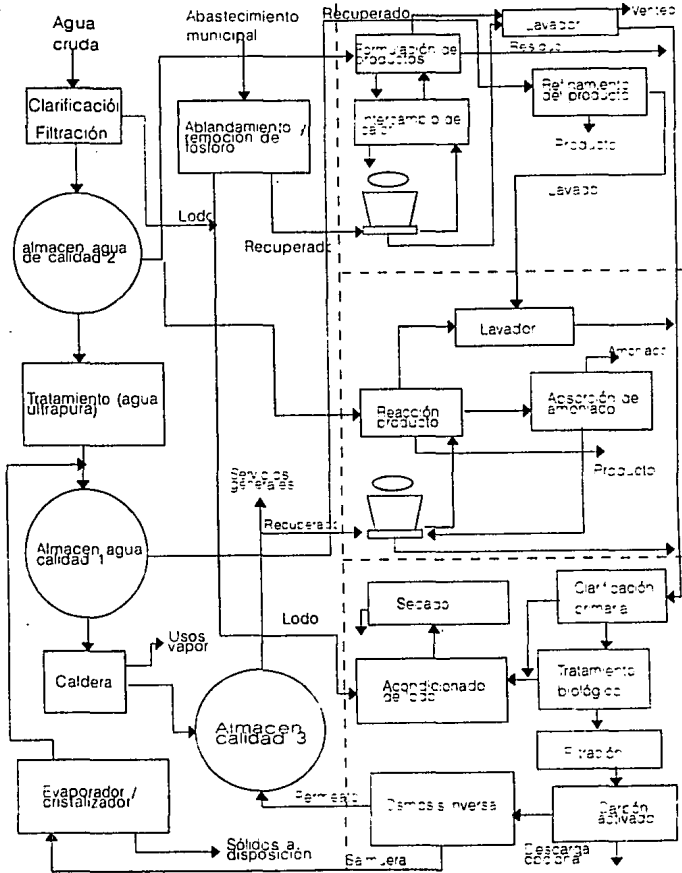
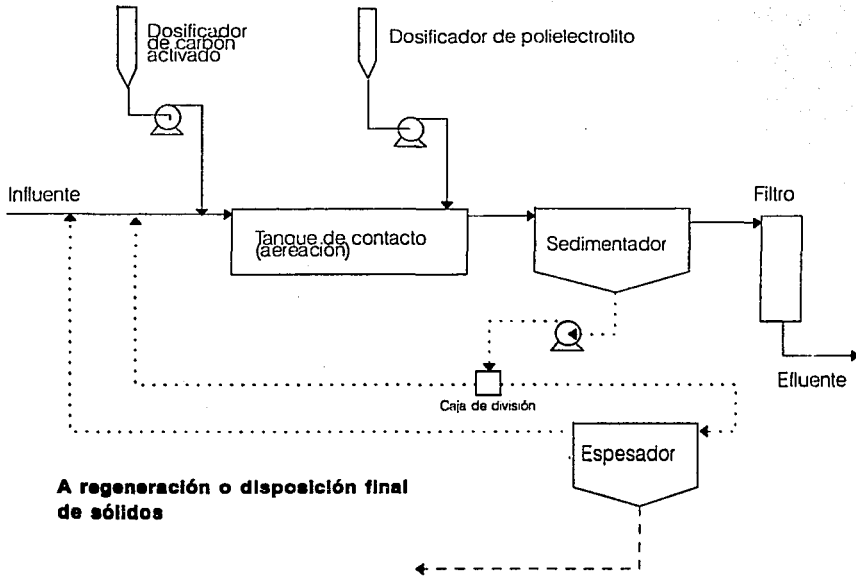


Figura 7.1 Diagrama del agua en una planta química.



**Figura 7.2 Diagrama general de un sistema de tratamiento de agua.**

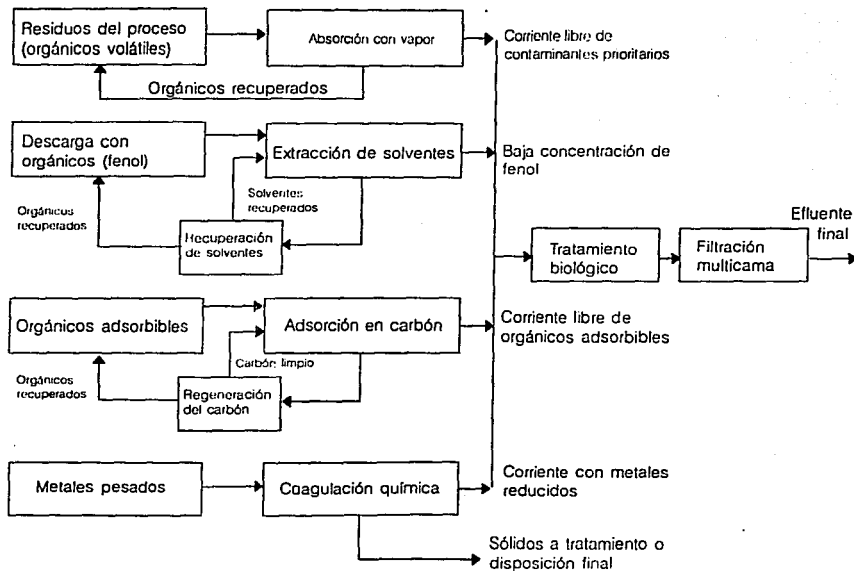


Figura 7.3 Diagrama de control de contaminantes al interior de la planta industrial.

## 8. INGENIERIA DE DETALLE.

---

Terminada la etapa de la Ingeniería Básica, donde se han dimensionado la totalidad de los equipos de tratamiento, el siguiente paso es su especificación y elaboración de planos detallados. Así como de refacciones, manuales de instalación, operación y mantenimiento de los equipos, que son necesarios para la construcción, arranque y operación de la planta de tratamiento.

En la Ingeniería de Detalle, consta de las siguientes actividades<sup>1,2,3</sup>:

### CIVIL Y ESTRUCTURAL.

- Estudio topográfico del terreno.
- Estudio de mecánica de suelos.
- Cimentaciones.
- Diseños estructurales de los equipos.
- Especificaciones particulares.
- Volúmenes de obra.

### MECANICO Y DE TUBERIAS.

- Diseño hidráulico, sanitario e interconexiones.
- Diagramas de flujo de proceso, de tuberías y de instrumentos.
- Planos de arreglo de tuberías, en planta y elevación.
- Isométricos de ductos y tuberías.
- Planos de arreglos de equipos por áreas.
- Planos de equipo.

<sup>1</sup> LOZANO R. Leticia, *Administración de Proyectos. Cuadernos de posgrado*, Facultad de Química. UNAM, México. p. 119.

<sup>2</sup> Water Pollution Control Federation, *Wastewater Treatment Plant Design*, USA. 1977. pp. 26-47.

<sup>3</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*, 1a. ed. México. CECSA, 1973. pp. 127-145.

- Drenajes industriales.
- Planos generales.
- Especificaciones de tubería.
- Lista de tuberías y válvulas.

#### **ELECTRICO.**

- Diagramas unifilares y de interconexiones, (interlocks).
- Diseño de líneas de fuerza y control.
- Planos de alumbrado y contactos.
- Diseño y especificación de subestación y centros de tablero de control.
- Diseño de sistemas de tierra y pararrayos.
- Especificaciones de motores.
- Lista de cables y conduit.
- Lista de equipos (motores, tableros y subestaciones) materiales y accesorios.

#### **INSTRUMENTACION.**

- Elaboración de diagramas lógicos y enlaces (loops).
- Tableros.
- Localización de instrumentos por áreas.
- Detalles típicos de instalación.
- Lista de instrumentos, materiales y accesorios.

#### **MANUALES, INSTRUCTIVOS Y RECOMENDACIONES.**

- Instructivos de instalación, operación y mantenimiento, de los fabricantes de equipo.
- Lista de refacciones recomendadas por un cierto período (un año) de operación de la planta.

## **8.1. ESTUDIO TOPOGRAFICO DEL TERRENO.**

El estudio topográfico del terreno, debe realizarse cuando el terreno sea de topografía muy irregular o sea de una zona de composición de terreno desconocido<sup>4</sup>. Así en el sitio seleccionado para instalar el sistema de tratamiento debe realizarse el levantamiento topográfico que debe cubrir el área necesaria para instalar el sistema de tratamiento en su totalidad.

El levantamiento topográfico debe contener curvas de nivel a cada 1.0 m si el terreno es muy accidentado y de 0.50 m si el terreno es relativamente plano.

<sup>4</sup> PETERS Max S., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 3a. ed. USA. McGraw-Hill. 1980, pp. 60-61.

## 8.2. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.

Este estudio debe realizarse, cuando se pretenda instalar el sistema de tratamiento en suelos de baja resistencia. Del estudio de mecánica de suelos deben obtenerse los siguientes datos<sup>5,6</sup>:

- Deben localizarse en el terreno (si existen) las caídas, barrancas y cortes de terreno, así como investigar la posible existencia de minas, rellenos o capas de arena y grava.
- Deben efectuarse sondeos en pozos a cielo abierto, que permitan el examen directo de las diferentes capas de suelo en su estado natural y se tomaran muestras alternadas y no alternadas para su análisis en el laboratorio. Así mismo deben realizarse pruebas de resistencia a la compresión de cada una de los estratos.
- Deben determinarse las propiedades del suelo. Las propiedades a determinar son: contenido de agua, densidad de sólidos, granulometría, límite de resistencia, límite plástico, límite líquido y límite de construcción.
- Determinación de las propiedades mecánicas del suelo, se deben determinar la consolidación unidimensional, permeabilidad, resistencia y pruebas triaxiales.

## 8.3. DISEÑO MECANICO DE LOS EQUIPOS DE TRATAMIENTO.

Los equipos de tratamiento diseñados en la Ingeniería Básica, en esta etapa se suministrarán los detalles de:

- Materiales de construcción.
- Detalles de las partes interiores de los equipos.
- Condiciones de operación.
- Detalles de unión entre los equipos, con las líneas de proceso.
- Dimensionamiento de las entradas y salidas de los equipos.

Los equipos de línea como sistemas de filtración, bombas, compresores y algunos equipos paquetes de tratamiento, deben ser diseñados y garantizados por el fabricante.

En esta etapa, es necesario que el grupo consultor comience a preparar de la requisición de cada uno de los equipos o lista de materiales que delimiten los requisitos y condiciones para cada pieza del equipo de tratamiento.

**DISEÑO ESTRUCTURAL:** se diseñan todas las cimentaciones, estructuras de acero y/o concreto reforzado<sup>7</sup> así como las instalaciones adicionales del sistema de tratamiento.

<sup>5</sup> SOWERS George f., *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. 1a. ed. México. Limusa. 1972, pp. 321-390

<sup>6</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*. 1a. ed. México. CECSA, 1973. pp. 678-681.

<sup>7</sup> ídem. p. 130, 708-722.

Por el hecho de que muchas de las cimentaciones se encuentran bajo la tierra, el personal de este grupo debe estar en contacto con los diseñadores de tubería a efecto de hacer instalaciones correctas y que no existan interferencias. Los trabajos de diseño deben apegarse a los códigos vigentes y a las especificaciones particulares del trabajo, las actividades y documentos en esta etapa son:

- Diseño de accesos, pasillos (vista de planta, cortes y detalles).
- Drenajes pluviales, residuales del proceso, de oficinas, aceitoso (vista de planta).
- Drenajes, detalles y cortes.
- Localización general de cimentaciones.
- Estructura, cimentación y muros de contención para tanques de concreto, en terreno con pendiente, planta, corte y detalles.
- Estructura y cimentación, para tanques en terreno horizontal, plantas, cortes y detalles.
- Cimentación de recipientes metálicos.
- Cimentación de bombas, planta cortes y detalle.
- Cimentación de la plataforma para equipos, planta corte y detalles.
- Cimentación de soportes y puente de tuberías. planta, cortes y detalles.
- Plano típico de escaleras.
- Cuarto de control de instrumentos, planta, elevaciones cortes y detalles.
- Revisión de planos de taller.
- Catálogos de conceptos y cantidades de obra.

#### **DISEÑO MECANICO DE:**

- Equipos de tratamiento.
- Tanques de almacenamiento.
- Tanque mezclador de reactivos químicos.
- Sistemas de filtración.
- Revisión de los planos de los proveedores.

Las cimentaciones para los equipos de tratamiento, edificios y las estructuras de acero no solamente deben transmitir la carga al suelo, si no también sujetar en su lugar al equipo soportado.

El proyecto de cimentación, empieza con la distribución del equipo principal de tratamiento. Las bombas, compresores, recipientes u otros equipos localizados a nivel del suelo, se colocan en secciones de concreto separados. La base del equipo o la parte superior del concreto, debe estar siempre elevada cuando menos 0.15 m arriba de la rasante nominal del área.

En climas fríos, es ventajoso colocar la unidades de tratamiento en el interior de edificios, como son los proceso de biológicos. Algunas partes del equipo deben estar al abrigo de la intemperie como son: algunos aparatos mecánicos pesados, generadores de energía eléctrica, lechos de secado, algunos tipos de filtros mecánicos, tableros de control principales y cualquier equipo que requiera una atención constante en su operación.



En zonas donde se requiera de atención constante del sistema de tratamiento, se deben colocar los pisos de rejilla metálica.

Mientras el diseño y la selección de los equipos de tratamiento se completa, las especificaciones de cada equipo deberán listarse de manera ordenada. Estas formas pueden reproducirse y distribuirse a otros departamentos para ser integradas dentro del diseño completo de la planta de tratamiento. En adición a estas especificaciones, se recomienda producir un diagrama final de flujo de proceso.

#### 8.4. LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPOS DE TRATAMIENTO (DEFINITIVO).

Terminados los diagramas de ingeniería de flujo, debe planearse la distribución de los equipos de tratamiento en el terreno disponible<sup>8</sup>. El resultado de este trabajo son: el plano maestro de conjunto y los planos unitarios de equipo.

El plano maestro de conjunto, muestra la localización de cada unidad de tratamiento, pasillos y edificios. El plano unitario muestra la localización de cada pieza de equipo dentro de cada unidad de tratamiento.

Por lo general el sistema de tratamiento, se divide en bloques separados y en la forma más conveniente. Este acomodo, está influenciado por algunos de los siguientes factores:

- Topografía del terreno.
- Facilidades de acceso.
- Tipos de unidades de proceso.
- Seguridad.
- Servicios generales.

#### 8.5. DISEÑO DE TUBERIAS.

Para el diseño de tuberías, se utilizan los diagramas de flujo mecánico los arreglos generales y preliminares, para determinar la ruta más adecuada para el tendido de tuberías. Existe una vasta literatura referente al diseño de tuberías<sup>9, 10, 11, 12, 13, 14, 15</sup>.

<sup>8</sup> Idem. p. 102-106.

<sup>9</sup> PERRY Robert H., *Chemical Engineer's Handbook*. 6a. ed. USA. McGraw-Hill. 1984, pp.5-22 - 5-40.

<sup>10</sup> LUDWING Ernest E., *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*. USA. Gulf Publishing Company, 1964.

pp. 45-90

<sup>11</sup> McCabe/Smith, *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*. 1a. ed. España. Reverte, S.A. 1981, pp. 31-251.

<sup>12</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*. 1a. ed. México. CECSA, 1973. pp. 453-538.

<sup>13</sup> CRANE, *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe*. Fourteenth Printing. USA. 1974.

El arreglo de tuberías se realiza, dando preferencia a las líneas más costosas, como son las de grandes diámetros y de materiales caros. Debe evitarse la interferencia con otras líneas, áreas de trabajo para operación y mantenimiento, así como de cimentaciones o acero estructural.

En base a los planos de tubería, se trazan los isométricos para cada línea, se prepara la lista de materiales de las líneas de tubería para cada isométrico y se hace la suma total del proyecto. Se realizan los análisis de los esfuerzos de tuberías y se diseñan todas las anclas y soportes de las tuberías.

Los documentos generados en esta etapa son:

- Área de tratamiento, plano de tuberías, vista de planta.
- Área de tratamiento, elevaciones, detalles de tubería.
- Tanques de tratamiento y almacenamiento, planta de tuberías y detalles.
- Soporte de tuberías e interconexiones.
- Especificaciones de materiales.
- Especificaciones para diseño, fabricación erección y pruebas de tubería.
- Elaboración de isométricos.
- Especificaciones de flexibilidad y soportería.
- Especificación, ubicación y requisición preliminar de válvulas y tuberías.
- Ubicación final de tuberías, conexiones y accesorios.
- Ubicación y requisición final de válvulas.
- Índice de líneas.
- Verificación hidráulica.

## 8.6. DISEÑO ELECTRICO.

El diseño eléctrico debe hacerse con las especificaciones marcadas por el sistema de tratamiento y por los diferentes códigos aplicables a instalaciones eléctricas. Las actividades en esta etapa de diseño consisten en:

- Trazado de todos los conductos eléctricos y dibujos finales.
- Elaboración de todos los dibujos eléctricos para subestaciones y arreglo de los dispositivos de distribución.

Los diagramas de los circuitos del sistema de tratamiento, se preparan en forma esquemática y unifilar, para mostrar todo el equipo eléctrico, distribución de la carga, transformadores y mecanismos de control (diagramas unifilares).

<sup>14</sup> GILES Ronald, V., *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. 1a. ed. México, McGraw-Hill, 1978.

<sup>15</sup> MATAIX Claudio, *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 2a. ed. México, Haria S.A. de C.V., 1982.

Se debe utilizar estos diagramas para distribuir y mostrar con detalle todos los conductos y equipos. Se asigna un número o símbolo a todos los tramos de conducto, circuitos y equipo.

Los dibujos para la instalación eléctrica, son meros esquemas sin dimensiones, excepto de los detalles que muestran partes terminales de tramos de conductos, disposición de los conductos en los bancos, entradas de conductos a equipos y edificios y arreglos precisos necesarios de efectuar cuando se tienen limitaciones por espacio.

Los documentos y actividades generadas en esta etapa son:

- Diagrama unifilar.
- Diagrama de elementos e interconexiones.
- Arreglo del cuarto de control.
- Distribución de fuerzas y control.
- Alumbrado.
- Sistema de tierras.
- Detalles.
- Criterios de diseño, eléctrico.
- Lista de materiales, eléctrico.
- Revisión de los dibujos de los proveedores.
- Requisiciones de material y equipo eléctrico.
- Especificaciones del equipo eléctrico.
- Lista de motores.

## 8.7. INGENIERIA DE INSTRUMENTACION.

Los especialistas en instrumentación preparan y seleccionan las especificaciones de los diversos instrumentos a utilizar en el sistema de tratamiento<sup>16, 17</sup>. Los documentos generados en esta etapa son:

**INDICE DE INSTRUMENTOS:** El índice de instrumentos, reúne la información necesaria para todos los instrumentos del sistema de tratamiento; permitiendo que se conozca rápida y sencillamente las características y la localización de cualquier instrumento.

**DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACION:** Los diagramas de instrumentación, presenta los elementos que forman los circuitos y la forma en que estos van enlazados, así como su ubicación (en campo, parte posterior del tablero o en el tablero). Contienen también la información simbólica de los suministros, ya sea eléctrico (corriente alterna o directo) de aire o de otro tipo.

<sup>16</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*. 1a. ed. México, CECSA, 1973, pp. 616-619.

<sup>17</sup> Water Pollution Control Federation., *Operation of Wastewater Treatment Plants "MOP 11"*. 1a. ed., USA. Lancaster Press. 1976, pp. 381-410.

Estos diagramas, junto con los circuitos lógicos de control, son la base para el entubado y alambrado en campo y en el tablero, ya que proporcionan las secuencias que siguen las señales de transmisión, control y alarma.

**HOJAS DE ESPECIFICACION DE INSTRUMENTOS:** Las hojas de especificaciones, se elaboran para cada instrumento de acuerdo a los datos de servicio, identificación, etc. Las hojas de las especificaciones contienen básicamente la información necesaria para la selección y adquisición de los instrumentos requeridos.

**BASES DE DISEÑO DEL TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL:** En este documento se establecen el número de secciones requeridas del tablero principal y los tableros locales de control, así como su configuración.

Aquí se indican las dimensiones del cuarto de control, proporcionando la información necesaria para la especificación y definición de la capacidad de los sistemas de alimentación ya sean neumáticos ó eléctricos.

**Los documentos y actividades en esta etapa son:**

- Elaboración de los dibujos de arreglo general para la instalación de instrumentos, indicando con símbolos la localización de todos los instrumentos a lo largo de las tuberías y equipos de tratamiento.
- Listado de todos los instrumentos y dibujos de las tuberías y equipos de tratamiento, indicando el lugar de instalación del instrumento primario el número de partida y el tipo d instrumento (indicado por un símbolo) el tipo de capilar y las conexiones eléctricas necesarias para el sistema de control.
- Dibujos que muestren los detalles de la instalación y montaje de todos los instrumentos, con excepción de las válvulas de control, las cuales son señaladas en el diseño de las tuberías.
- Elaboración de los dibujos detallados del tablero de control.
- Listado de tuberías y de otros materiales eléctricos empleados.
- Revisión de los dibujos del proveedor de instrumentos.
- Revisión de los dibujos de tuberías y equipos de tratamiento para comprobar la localización apropiada de los orificio para la instrumentación requerida.
- Revisión de todos los equipos de tratamiento, para verificar la localización apropiada de los elementos primarios de los instrumentos.

## 8.8. TIPOS DE DIBUJOS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

En general se cuentan con dos tipos de dibujos que son: los dibujos preparados por los diseñadores del grupo consultor y los preparados por el fabricante de equipo de línea.

Los dibujos elaborados por los diseñadores del sistema de tratamiento son:

- Los dibujos necesarios para la instalación de los equipos, ya sea para ser fabricados en el mismo sitio de su construcción o bien para mandarse a fabricar en algún taller, también son utilizados para definir la lista de materiales.
- Los dibujos para la construcción del equipo, y también utilizados para elaborar una lista más detallada de materiales.

Los dibujos e información proporcionada por los fabricantes son:

- Dibujos elaborados por el fabricante para uso propio, para fabricación, algunas veces son llamados dibujos de taller.
- Dibujos de montaje, preparados por el fabricante y usados por el cliente para el montaje del equipo comprado.
- Dibujos que muestran dimensiones, hojas informativas, hojas sueltas de catálogos, etc.

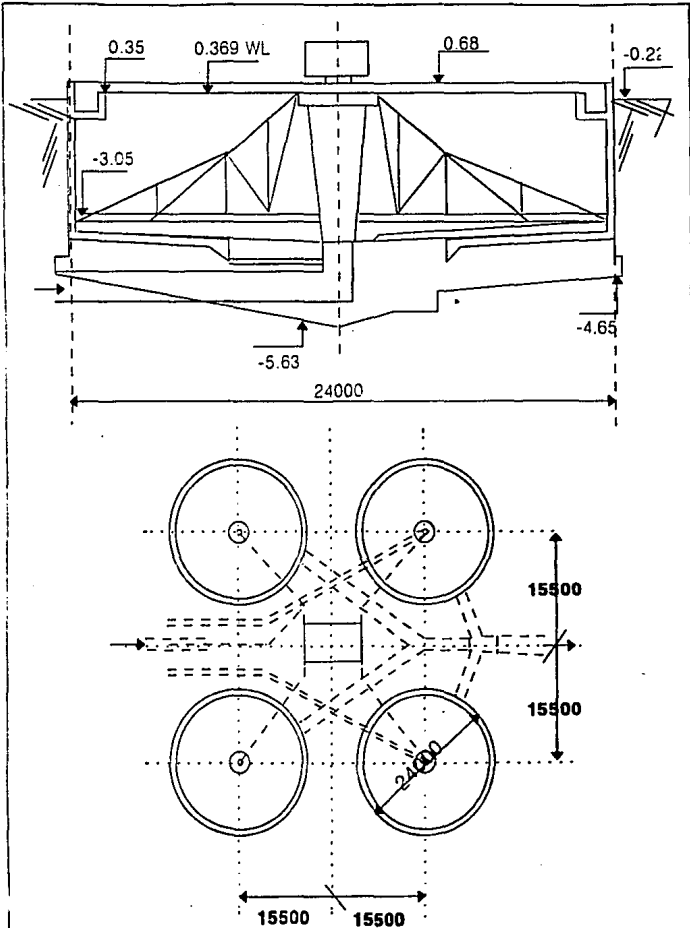
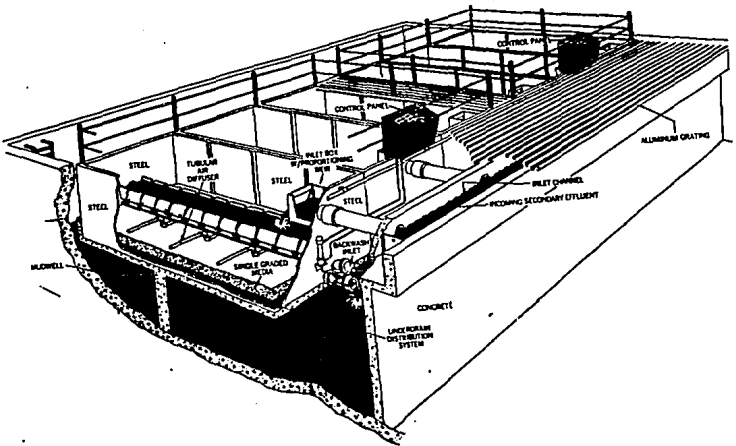
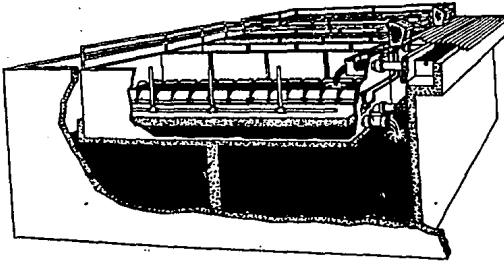


Figura 8.1 Detalle tanques sedimentadores.



**Figura 8.2** Filtro de agua por gravedad.

## 9. PROCURA DE EQUIPOS Y MATERIALES.

---

En la etapa de procura, la principal actividad es el de tener en lugar de la obra a tiempo todo los equipos y materiales del sistema de tratamiento.

La procura incluye la compra y todo el seguimiento a cada una de las partidas de materiales y equipo, para que estén de acuerdo con las especificaciones de la obra y se entreguen en el sitio de construcción conforme a los tiempos especificados en el programa de obra.

### 9.1 PROCEDIMIENTOS DE PROCURACION.

Los procedimientos de procuración, generalmente están divididos en varias fases<sup>12</sup>, que son:

- Solicitud de la cotización: petición formal de precios de materiales y/o equipos.
- Cotización: respuesta formal a la petición de precios, incluye condiciones de compra, descuentos, etc.
- Comparación de ofertas: estudio objetivo de todas las cotizaciones recibidas de acuerdo a un renglón dado (análisis técnico-económico).
- Orden de compra: pedido formal, que se envía a la mejor propuesta.
- Inspección: examen de materiales durante la fabricación del equipo, con objeto de asegurar la más alta calidad.

<sup>1</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*. 1a. ed. México, CECSA, 1973. pp. 149-220.

<sup>2</sup> LOZANO R. Leticia, *Administración de Proyectos. Cuadernos de posgrado*, Facultad de Química, UNAM, México. p. 119-120.



- Expedición: aceleración por parte del comprador, del avance de la manufactura del equipo, para cumplir con los tiempos del programa de obra.

## 9.2 COTIZACION.

Las actividades detalladas de la fase de solicitud de cotizaciones son:

- Acumulación de datos en la forma de especificaciones o planos, de los materiales y equipos de tratamiento.
- Selección de los vendedores a quienes se les va a dirigir la solicitud.
- Mecanografía y envío del pedido de cotización.

El primer renglón es responsabilidad del grupo consultor, el segundo se desprende de experiencias anteriores de instalación de sistemas de tratamiento y la última es operación de oficina. La cotización, debe contener la siguiente información:

- Cantidad y descripción del material y/o equipo que se está cotizando.
- Precios.
- Pesos estimados.
- Tipo de cotización.
- Descuentos comerciales y descuentos por volumen.
- Condiciones de pago.
- Tiempos de entrega.
- Cláusulas escalatorias.

## 9.3 COMPARACION DE OFERTAS.

Recibidas las cotizaciones de los diversos proveedores, se deben analizar y comparar, tomando en cuenta los siguientes factores:

- Especificaciones.
- Precios y cláusulas escalatorias.
- Tiempos de entrega.
- Condiciones de pago.
- Condiciones generales (política de la compañía).
- Garantías.
- Fletes.
- Métodos de embarque.
- Lugar de origen.

Deben evaluarse todas las características de diseño. Cuando se hace un análisis detallado y se comparan en una tabulación ordenada las características de oferta de cada vendedor, resultan con bastante claridad las diferencias que pudieran quedarse ocultas. La evaluación económica es importante por lo que es importante actualizar los precios de todas las cotizaciones en una misma base de tiempo.

#### 9.4 ELABORACION DE LA ORDEN DE COMPRA.

Seleccionado el proveedor, se emite la orden de compra, que debe estar basada en la cotización seleccionada, para dicho propósito se utilizan formas de órdenes de compra.

Cabe mencionar que legalmente, la orden de compra se convierte en un contrato, únicamente después de haber sido aceptada por el vendedor. Por consiguiente es de práctica común que el comprador anexe un documento de aceptación con la orden de compra, de modo que el proveedor lo firme y lo retorne.

#### 9.5 COMPRAS DE MATERIALES Y EQUIPO.

Después de haber recibido, el departamento de compras la orden de compra, este es responsable de la colocación pronta y económica de pedidos para los equipos, materiales y servicios requeridos para la construcción y operación del sistema de tratamiento. Existen cuatro tipos de compras:

- Equipos diseñados por el proveedor: esto incluye en existencia o de diseño estándar como bombas, dosificadores, rastras, agitadores, compresores, motores, arrancadores, entre otros.
- Equipo diseñado por el grupo de ingeniería, como sedimentadores, cárcamos de bombeo, reactores biológicos, desarenadores, floculadores, lechos de secado, espesadores, entre otros.
- Materiales comprados en cantidades como tuberías, cable varilla, acero, concreto, etc.
- Servicios de consultoría, subcontratos, etc.

Las compras se organizan en uno de los tres modos siguientes: *compras por etapas del proyecto, compras por tipo de materiales, o una mezcla de ambos.*

El departamento de compras debe consultar al grupo de ingeniería, para determinar si los productos a comprar cumplen con las especificaciones técnicas, entrega y de términos de pago.

## 9.6. INSPECCION.

La inspección, consiste en comprobar la calidad de los materiales y el trabajo del proveedor. Esto asegura que los equipos y materiales a suministrar, estén de acuerdo a las especificaciones de diseño.

Los materiales inapropiados o de mala calidad, si no son descubiertos en las bodegas o talleres del proveedor, pueden ocasionar serias demoras en la etapa de construcción y/o paros costosos durante la puesta en operación del sistema de tratamiento. La inspección depende de los siguientes factores:

- Prácticas de control de calidad y reputación del proveedor.
- Códigos establecidos.
- Experiencia del contratista con el proveedor.
- Experiencia del proveedor en el suministro de equipo y de materiales de tratamiento.
- La importancia de la pieza, para la operación del sistema de tratamiento.
- Si se están usando materiales especiales y/o se están implantando nuevos métodos.

No es práctico inspeccionar todo, esta debe hacerse en la áreas críticas y tomando muestras estadísticamente representativas.

## 9.7. EXPEDITACION.

Esta tarea relaciona el avance de la ingeniería y la fabricación de los equipos; desde el momento en que se colocan los pedidos hasta que el equipo es aceptado en el lugar de la obra.

Una vez emitida la orden de compra, el expeditador, debe ponerse en contacto con el proveedor para confirmar: fechas de entrega de planos y dibujos y fechas de entrega de equipos y/o materiales. Esta actividad se realiza con el fin de obtener un programa calendarizado de trabajo de cada una de las partes.

La situación precisa de la fabricación de los equipos y de los materiales, debe comprobarse periódicamente por teléfono, carta ó visita a la fábrica del proveedor. Es responsabilidad del expeditador, anticiparse a los posibles problemas que surgan, así como los procedimientos de fabricación estén de acuerdo a lo prometido.

Si el proveedor, tiene al mismo tiempo, pedidos de otras compañías, el expeditador debe visitar el taller con mas frecuencia para asegurarse que el trabajo de su sistema de tratamiento no se retrase indebidamente por los otros pedidos. Las actividades del expeditador son:

- La recopilación y análisis de las posibles actividades que pudieran afectar los tiempos de entrega.
- La anticipación a los retrasos y resolverlos directamente con el proveedor.
- Ayudar al proveedor a obtener prioridades y a resolver sus problemas de procuración.
- Sustener correspondencia con los subvendedores y proveedores del vendedor principal.
- Estar pendiente de los cambios en el calendario del proyecto y de su propia organización y cuando sea necesario pasar esta información al proveedor o fabricante.

## 9.8. PRACTICAS GENERALES COMPRADOR-VENDEDOR.

En las relaciones de comprador-vendedor, las siguientes prácticas son comunes:

- Generalmente todas las transacciones comprador-vendedor deben ser sostenidas sobre una base formal (por escrito).
- Las instrucciones a los proveedores, deben ser enviadas en forma de una orden de compra modificada e identificarse mediante una designación numérica similar, como la orden de compra original.
- Después de que una oferta formal ha sido recibida, la renegociación de precios puede no estar permitida.
- En cambios de diseño o enfoques de trabajo que son culpas del proveedor, pueden requerirse cancelaciones de pedidos de trabajo. El comprador también puede tener participación en la mala fabricación debido a la mala especificación de materiales y equipos de tratamiento.

# 10. CONSTRUCCION.

---

Completado el proyecto del sistema de tratamiento, la siguiente etapa es su construcción<sup>12</sup>. La mayor responsabilidad recae en el ingeniero residente de obra, así como en la empresa consultora. En esta etapa se requiere de personal con conocimientos en construcción.

La gama de actividades en la etapa de la construcción es muy amplia, siendo las principales:

- Preparación del terreno.
- Montaje de instalaciones provisionales (almacenes de equipos, herramientas y materiales de construcción; suministro temporal de servicios, accesos temporales, etc.).
- Excavaciones, cimentaciones e instalaciones subterráneas.
- Prefabricación y montaje de estructuras metálicas.
- Montaje de equipos.
- Erección de edificios.
- Prefabricación y montaje de tuberías.
- Instalaciones eléctricas.
- Montaje de instrumentos.
- Aislamiento y pintura.

## 10.1 SELECCION DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.

La preparación de los datos que van a ser usados para la obtención de las ofertas de las compañías constructoras, generalmente es una tarea costosa para la empresa contratante, en vista de que dicha

<sup>1</sup> LOZANO R. Leticia, *Administración de Proyectos. Cuadernos de posgrado*, Facultad de Química. UNAM, México. p. 120.

<sup>2</sup> RASE Howard F., *Ingeniería de Proyecto "Para plantas de Proceso"*. 1a. ed. México. CECSA, 1973. pp. 747-749.

información se convierte en la base para evaluar lo ofrecidos por las diversas constructoras, debe ser lo más completamente posible, con el objeto de evitar malas interpretaciones<sup>3</sup>.

El grado de información necesaria del proceso de tratamiento y del detalle de los equipos, variará de acuerdo al tipo de proyecto. Una propuesta de construcción debe tener la siguiente información básica.

- Descripción general del proyecto.
- Alcance de los trabajos de la constructora.
- Desglosado de cada uno de los conceptos de la construcción del sistema de tratamiento, con su respectivo costo.
- Servicios (red eléctrica, hidráulica, etc.).
- Instalaciones auxiliares (laboratorios, talleres, almacenes, etc.).
- Porcentajes de utilidad del contratista.

Los contratos nunca deben ser adjudicados sobre la única base del precio. Se debe tener cuidado en aceptar una oferta baja, aunque la oferta pueda ser sincera, la inexperiencia puede causar errores que más tarde pueden originar una situación insostenible.

Algunas veces se comete el error de suponer que cualquier constructora está capacitada para construir cualquier sistema de tratamiento, por el solo hecho de tener experiencia en construcción en general. Muchas veces las mismas constructoras son culpables del mismo criterio.

El estado financiero de la constructora, debe ser tomado en cuenta, ya que en la mayoría de proyectos esta debe hacer fuertes erogaciones antes de obtener su primer reembolso.

## 10.2 PLANEACION DE LA CONSTRUCCION.

La construcción del sistema de tratamiento debe planearse, para evitar retrasos en la terminación de la obra. Mientras que el sistema de tratamiento no este completamente terminado, no se puede pasar a la siguiente actividad, que consiste en el arranque del sistema de tratamiento.

Para una planeación adecuada de la construcción, esta debe dividirse en forma detallada hasta sus actividades mas simples, esto es con el objeto de identificar aquellas actividades críticas del proyecto y las cuales por tanto afectan directamente a la duración del proyecto, si estas sufren algún retraso. Uno de los métodos de planeación mas populares para la etapa de la construcción es el método de la ruta crítica (CPM).

<sup>3</sup> Ídem. p. 747.

Para estudiar la técnica de montaje de los diversos equipos de tratamiento, es recomendable hacerlo preliminarmente en gabinete, en modelos a escala; esto se traducirá en una reducción de los costos de construcción.

### **10.3 ACTIVIDADES EN LA CONSTRUCCION.**

El ingeniero residente de campo, es responsable del cumplimiento de los planes y especificaciones, así como de la autorización de las modificaciones que sean necesarias durante la etapa de la construcción. Aunque el método y programas constructivos dependan del contratista, el ingeniero supervisor debe ejercer un control sobre los mismos para evitar problemas o demoras que sean previsibles.

Todos los ingenieros no relacionados con los métodos constructivos (ingenieros químicos, de proceso, eléctricos, etc.) deben observar la construcción y el montaje del sistema de tratamiento de principio a fin, esto es para que entiendan y asimilen las operaciones constructivas y así aplicarlas en el futuro cuando se presenten problemas similares.

### **10.4 PREPARACION DEL TERRENO.**

Normalmente los terrenos están llenos de matorrales, árboles y piedras grandes, por lo que será necesario llevar a cabo labores de limpieza. Los topógrafos deben trazar los linderos de la planta y los puntos de referencia. Si las condiciones del terreno son muy críticas, deben utilizarse grandes máquinas y palas mecánicas para mover tierra, arrancar árboles y nivelar lomas y bajos.

### **10.5 EDIFICIOS PROVISIONALES.**

Durante los primeros días de construcción, el número de trabajadores es pequeño y los servicios que necesitan también lo son, sin embargo al proseguir la construcción, el número de trabajadores aumenta, por lo que se vuelve necesario el tener alojamientos provisionales para el personal, material y el equipo de construcción.

Los edificios provisionales deben de ser de tal manera, que puedan cambiarse de un lugar a otro con gran rapidez ó tirarse al terminar la obra. Generalmente se construyen de manera o armazones de acero, con techo y paredes de madera de lámina.

## 10.6 ABASTECIMIENTO PROVISIONAL DE AGUA.

El lugar de construcción debe contar con un suministro provisional de agua, para las tareas de construcción que lo requieran, limpieza de equipo, protección contra incendio y para los trabajadores.

## 10.7. EXCAVACIONES.

Las tareas de excavación deben completarse lo mas rápidamente posible, para proceder con la instalación de los servicios subterráneos y las cimentaciones. En la excavación, puede realizar en tres tipos de terreno que son:

- Lugares donde existe roca sólida en su lecho original ó en capas bien definidas, que únicamente podrán trabajarse mediante barrenos, así mismo como el material cementado de formación geológica y cuya dureza recién expuesta es de valor tres en la escala mineral.
- Terrenos de piedra caliza desintegrada, arcilla refractaria, esquisto, gravilla cementada y bloques menores de 0.25 m y mayores de 0.03 m; estos pueden excavar manual o mecánicamente con poca dificultad. Tipo dos en la escala mineral.
- El último tipo corresponde a los terrenos restantes.

Cuando se sabe que se van a presentar arenas movedizas, debe incluirse un factor de costo en el contrato por este concepto. Un factor adicional de la dificultad de excavación esta dada por la topografía del terreno.

Las zanjas abiertas en terrenos inestables, deben revestirse y apuntalarse para evitar hundimientos y desplomes de las paredes laterales<sup>4</sup>. El peligro que esto representa para los trabajadores y el aumento que representa en el costo de la construcción, justifican todas las precauciones posibles.

Las paredes de las zanjas de profundidad superior a 1.5 m y longitud de 2.5 m o mayor deben asegurarse con apuntalamientos dándoles una inclinación correspondiente al talud natural del terreno.

Todas la juntas subterráneas de tuberías que no llevan rosca, deben protegerse contra fugas y el ariete hidráulico por medio de anclas de concreto, ya que la compactación del suelo alrededor de la junta no es suficiente para soportar los esfuerzos producidos por el aumento instantáneo de la presión.

<sup>4</sup> BESSELIEVRE Edmund B., *The Treatment of Industrial Wastes*. 2a. ed. USA. McGraw-Hill, pp. 131-136.



## 10.8 INSTALACION DE TUBERIAS.

El montaje de las tuberías superficiales, debe comenzar después de que se instale o construya el equipo principal. Las partes costosas de las válvulas, deben manejarse con cuidado, estas deben estar bien sostenidas todo el tiempo del montaje para que no se dañen.

Cada unidad separada de tubería fabricada en el taller, debe llevar una identificación numérica en la pieza, de acuerdo a lo especificado en los planos. Debe utilizarse un código de colores para cada uno de los diámetros de la tubería, esto aumentará la rapidez de su identificación y montaje.

Para las tuberías subterráneas, no sujetas a presión, antes de proceder a colocarlas, debe comprobarse la pendiente del fondo de la zanja donde se va a instalar. Las tuberías a instalar deben examinarse cuidadosamente para eliminar aquellas que presenten fisuras o defectos.

Las zanjas deben rellenarse inmediatamente después de colocar las tuberías a menos que se instalen en terreno de tipo tres, en cuyo caso hay que esperar que el concreto de las juntas fragüe, para que soporte el peso de las tierras. En las zanjas sin relleno, no debe permitirse la entrada de agua.

El material de relleno debe estar exento de matas, escombros y rocas de gran tamaño. No se deben colocar rocas en el tramo de la zanja de 0.4 a 0.5 m de espesor ni de 0.9 m situados por encima de la tubería. El relleno debe compactarse por capas de 0.15 m de espesor por debajo y por encima de la tubería en una altura de 0.60 m.

## 10.9 EDIFICIOS NO RELACIONADOS AL TRATAMIENTO.

Las instalaciones, que se destinan al almacenamiento de productos químicos de tratamiento, laboratorios, talleres, vestidores, se pueden construir durante cualquier tiempo durante la obra, conforme se disponga de personal.

## 10.10 ETAPAS FINALES DE CONSTRUCCION.

Instalado el equipo principal del sistema de tratamiento, deberá realizarse la instalación de los equipos más pequeños y la instrumentación requerida para el control del proceso de tratamiento. Esta instalación final disminuye la posibilidad de daño en las partes delicadas de los instrumentos.

El trabajo de campo es muy sensible a las condiciones meteorológicas, disponibilidad de mano de obra calificada y la entrega de materiales y equipos claves. estas actividades son las de mayor riesgo durante la construcción.

Los últimos días de la etapa de la construcción, son muy agitados, el lugar se limpia y se pone en orden, se desmontan los edificios provisionales. La planta queda lista para el arranque. Esto es resultado de un esfuerzo conjunto de Ingenieros Civiles, Ingenieros Mecánicos, Ingenieros Químicos, Ingenieros Electricistas, Dibujantes , Operarios y Trabajadores en general.

# 11. ARRANQUE Y OPERACION

---

La preparación para el arranque, empieza mucho antes de completarse la construcción del sistema de tratamiento. Con la preparación de los instructivos de operación y mantenimiento, de modo que puedan utilizarse en la capacitación de los operadores<sup>1</sup>. Un manual típico de operación debe contemplar los siguientes puntos:

**DESCRIPCION GENERAL:** Aquí se incluyen las bases, en que se diseñó el sistema de tratamiento de agua residual, productos químicos dosificados, así como una descripción general del proceso de tratamiento del agua residual.

**CONDICIONES DE OPERACION Y SU CONTROL:** Aquí se describen las variables del proceso de tratamiento y el efecto de la variación de las condiciones. Así mismo se indican las condiciones especiales de operación y control del sistema de tratamiento.

**PREPARACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:** Todos los procedimientos previos al arranque del sistema de tratamiento.

**ARRANQUE:** Descripción detallada del procedimiento de arranque del sistema de tratamiento.

**PARO NORMAL:** Indica el procedimiento normal, para el paro de la unidad, así como limpiar y preparar la unidad para inspección y de mantenimiento.

---

<sup>1</sup> SCHULZ Christopher R., *Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo*. 1a. ed. México. Limusa. 1990, p. 311.

**PARO DE EMERGENCIA:** Contienen los procedimientos a seguir para parar la unidad en caso de falla de la energía eléctrica, falla de equipo, incendio, etc.

**SEGURIDAD:** Indica la protección, manejo de material tóxico, limpieza, preparación de tanques, entradas de hombre, equipos de seguridad, etc.

**DIAGRAMAS DE FLUJO:** Impresos reducidos de todos los diagramas de flujo de proceso y mecánicos.

**APENDICES:** Esta parte incluye cualquiera de las instrucciones especiales de operación suministrados por los proveedores de los equipos, comprobaciones rutinarias de mantenimiento por el operador y pruebas de control normal de laboratorio requeridas para operación normal.

Antes del arranque, los operadores provistos de diagramas de flujo y de tubería e instrumentación, deben comprobar cuidadosamente cada unidad, línea por línea.

## 11.1 DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS

En la operación de la planta de tratamiento, ni los programas generales, ni los suministros generosos de capital, servirán de mucho a menos que se conjunten los siguientes elementos:

- Tecnología adecuada.
- Dirección efectiva y eficiente.
- Mano de obra capacitada.

Muchos son los casos en que en instalaciones de tratamiento de agua diseñadas y construidas, apropiadamente, se encuentran operando deficientemente después de unos cuantos años de servicio. Los problemas más comunes, en el sistema de tratamiento son:

- Los instrumentos de medición y/o control no funcionan.
- Las existencias de compuestos químicos, agotadas.
- Los motores de las bombas, agitadores, dosificadores, etc., quemados.
- Acumulación y solidificación de lodo en cárcamos de bombeo, tanques de aereación, sedimentadores, espesadores, etc.
- Los filtros se han quedado sin lechos de filtración (arena, carbón activado y antracita).
- El material y equipo de laboratorio no han sido reemplazados.

Por lo tanto un sistema de tratamiento no puede considerarse concluido, aún cuando la construcción e instalación haya sido terminada, a menos que se encuentren ya capacitados y en sus puestos el personal necesario para asegurar una operación y mantenimiento continuo de los equipos<sup>2</sup>.

La atención al desarrollo de los recursos humanos debe equipararse con la prioridad dada a los estudios de factibilidad técnica, económica y financiera de las etapas base del proyecto, en caso contrario poco progreso se puede esperar en el buen funcionamiento de un sistema de tratamiento.

## 11.2 CLASIFICACION Y ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Las distintas clases de personal requerido para operar y mantener un sistema de tratamiento son función directa del tipo de proceso y tamaño del equipo<sup>3</sup>.

El personal de la planta de tratamiento, se puede dividir en dos partes: personal calificado, personal no calificado. En plantas muy grandes, es necesario que grupos separados se ocupen de las estaciones de bombeo, almacén de compuestos químicos, operación de los equipos y laboratorio así como superintendentes de la planta apoyados por mecánicos de mantenimiento y ayudantes generales.

El tiempo que se requiere para preparar el personal para la operación de la planta, es algunas veces mayor que el requerido para diseñar y construir esta.

En la etapa de diseño, se debe preparar el manual de la "filosofía de operación" del sistema de tratamiento. Este manual debe básicamente describir las unidades de tratamiento y su operación, con instrucciones precisas para el manejo de las diversas válvulas, bombas, alimentadores de químicos, etc. Este manual debe estar disponible antes de que la planta entre en operación y utilizarse en el programa de entrenamiento del personal.

## 11.3. REPORTES Y REGISTROS DE TRATAMIENTO.

Los reportes y registros de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, son de gran ayuda para el óptimo tratamiento del agua residual<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> ídem. p. 311.

<sup>3</sup> ídem. pp. 320-322.

<sup>4</sup> Water Pollution Control Federation, *Operation of Wastewater Treatment Plants*, USA. Lancaster Press. 1976, pp. 463-478.

Los operadores , deben usar los registros como una guía para regular, ajustar y modificar las instalaciones del sistema de tratamiento. Los registros en la práctica, sirven de base para determinar si es aceptable operar con volúmenes adicionales de aguas residuales y/o concentración de contaminantes.

Los registros de operación del sistema de tratamiento, se clasifican en dos categorías:

- Registros de las condiciones físicas de los equipos de tratamiento.
- Registros de operación del sistema de tratamiento.

**REGISTROS DEL ESTADO FISICO DEL SISTEMA:** Los registros del estado físico del sistema de tratamiento, incluyen los datos de revisión del estado físico de los equipos, ya sea en forma visual y mediante pruebas con diferentes equipos. Esta revisión puede ser diaria, semanal, mensual; de acuerdo a las condiciones de operación del sistema de tratamiento.

Los documentos que sirven de base para estas revisiones son los manuales de operación y mantenimiento (O y M), datos de diseño, dibujos de equipos y de partes componentes.

**Manuales de operación y mantenimiento:** Los manuales de operación y mantenimiento deben abarcar las siguientes áreas:

- Responsabilidades del encargado del sistema de tratamiento, requerimientos de calidad del agua tratada y descripción general del sistema de tratamiento.
- Calidad del agua tratada, requerida por la legislación ambiental.
- Operación y control del sistema de tratamiento.
- Forma de manejo de los lodos generados por el tratamiento.
- Especificación del personal requerido.
- Pruebas de laboratorio.
- Registros.
- Seguridad.
- Mantenimiento.
- Programa de respuestas ante condiciones de emergencia.
- Servicios.
- Sistema eléctrico.

Los manuales de operación y mantenimiento (O y M) pueden incluir la siguiente información:

- Reportes de los ingenieros de diseño, donde indiquen las bases y los parámetros de diseño, capacidades de todos los equipos de tratamiento, áreas de mantenimiento y a procesos industriales servidos.
- Planos constructivos y especificaciones.

- Costos detallados de construcción.
- Costos detallados de operación y mantenimiento.
- Perfil hidráulico de los niveles de agua en cada una de las unidades de tratamiento.
- Servicios auxiliares en el sistema de tratamiento.
- Registro de los equipos, incluyendo: nombre de cada equipo, fabricante, número de identificación, capacidad y datos de compra e instalación.

Las formas de los reportes, pueden ser en hojas de papel tamaño carta y ser usadas por el operador de la planta.

**REGISTROS DE LA OPERACION:** Los registros de operación deben incluir la siguiente información: determinaciones diarias en el laboratorio del control del proceso, medidas del gasto, datos de operación de las condiciones de operación de los equipos de tratamiento. Así mismo deben colectarse los datos de precipitación pluvial y temperatura del agua residual.

Los reportes de operación (diaria, mensual y anual), deben contener un resumen de los datos colectados, el uso de estos datos son de gran ayuda para el control del proceso. Los parámetros de operación y control, pueden ser: DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos volátiles (SSV), Edad de los lodos, kilogramos de químicos/unidad de agua tratada, etc.

Las tablas con el resumen de los datos de operación del sistema de tratamiento pueden ser ocupados para determinar las tendencias de las eficiencias de los equipos de tratamiento, así como la prevención de los posibles problemas de operación y sus posibles soluciones.

Las tablas siguientes muestran algunos formatos de reporte de datos del sistema de tratamiento.

El operador debe conocer los procedimientos de laboratorio, para efectuar diversas pruebas a muestras de agua residual y así con los datos obtenidos poder ajustar la operación del sistema de tratamiento de modo de cumplir con las normas correspondientes.

Fecha	DBO <sub>5</sub>					Sólidos Suspendidos					Sólidos Suspendidos Volátiles			
	Influyente		Efuyente		Remoción (%)	Influyente		Efuyente		Remoción (%)	Influyente		Efuyente	
	mg/L	Kg	mg/L	Kg		mg/L	Kg	mg/L	Kg		mg/L	Kg	mg/L	Kg
Del 1 al 31														
Observaciones:														

**FIGURA 11.2 Hoja de reporte de un tratamiento primario.**



Mes \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_\_

Operador \_\_\_\_\_

Fecha	Estado del tiempo				Agua residual			Arena ( $\frac{m^3}{m^3}$ arena/ $\frac{m^3}{m^3}$ agua)	Cribado ( $\frac{m^3}{m^3}$ basura/ $\frac{m^3}{m^3}$ agua)	Cloro (Kg)	Observaciones	
	Precip. (-m)	Temp. °C		Tipo	Temp. (°C)	Flujo (L/s)						pH
		(max)	(min)			Prom.	Max.					
del 1 al 31												

D - Despejado ; V - Viento , N - Nublado , L - Lluvia

**FIGURA 11.1** Hoja de reporte de diversos datos de un sistema de tratamiento.

Mes \_\_\_\_\_ de 19 \_\_\_\_\_

Patrón de Flujo \_\_\_\_\_

Fecha	DBO <sub>5</sub>			Sólidos Suspendedos			Sólidos Suspendedos Volátiles	
	Efluente Primario Kg/día	Efluente Tanque	Remoción	Efluente Primario Kg/día	Efluente Tanque	Remoción	Efluente Tanque mg/L	Remoción
		mg/L	%		mg/L			
Del 1 al 31								
Observaciones:								

\* R = Influento al Filtro/Influento de la Planta

**FIGURA 11.3 Hoja de reporte de un filtro rociador.**

Mes \_\_\_\_\_ 199 \_\_\_\_\_

Operador \_\_\_\_\_

Fecha	Aire Suministrado			DBO <sub>5</sub>		SS		SSV		Remoción		Licor Mezclado				Retorno de Lodo		
	Hr	M <sup>3</sup> /min	M/Kg DBO <sub>5</sub> removido	Efluente Primario Kg/día/M <sup>3</sup>	Efluente Final		Efluente Final		Efluente Final		Total en Planta		SS %	S Sedm 30 min. %	Indice de Densidad del Lodo	DO mg/L	%	SS mgr.
					mg/L	Kg	mg/L	Kg	mg/L	Kg	DBO %	SS %						
Del 1 al 31																		
Observaciones:																		

**FIGURA 11.4** Hoja de reporte de datos de un sistema de lodos activados.

Planta No. _____ Máquina No. _____ Inventario No. _____ Motor No. _____				
H.P. _____ Fabricado por: _____				
Serie _____ Fase _____ Ciclos _____ Volts _____				
Amperes _____ Modelo No. _____ Serie No. _____ Orden No. _____				
Diagrama de conexión-Rotor o Armadura _____				
<b>Registro de Servicio de Motores</b>				
Fecha de Instalación	Localización	Aplicación		
Fecha de Reparación	Reparación ó parte reparada	Causa	Reparado por:	Costo Total

**FIGURA 11.5 Hoja de reporte de servicio de motores.**

## 11.4. OPERACION Y OPERADOR.

En vista del gran número de consideraciones técnicas de tipo químico, biológico y químico, que tiene lugar en el tratamiento de las aguas residuales, es esencial un conocimiento cabal de los procesos de que tienen lugar. Todos los procesos de tratamiento requieren de una atención inteligente de operadores calificados para así obtener buenos resultados.

El operador y el ingeniero responsable, deben discutir la mejor forma de operación del sistema de tratamiento de agua. Si se trata de un sistema de tratamiento en remodelación, el operador puede dar valiosos consejos al ingeniero consultor.

**ARRANQUE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:** Es responsabilidad del operador, que el sistema de tratamiento funcione adecuadamente desde su arranque; los aspectos básicos a considerar en el arranque son:

Familiarizarse con:

- Cada elemento del sistema de tratamiento.
- Los objetivos del tratamiento.
- Las características de los cuerpos receptores.

Localización de las deficiencias del tratamiento para:

- Corregirlas, recomendar cambios y modificaciones.

Caracterizar las aguas residuales:

- Establecer programas de muestro y pruebas de control del proceso de tratamiento.

Realizar los estudios necesarios, para determinar:

- Los posibles problemas sobre la disposición de los lodos, producto del tratamiento.
- Restricciones ambientales relacionadas.

**OPERACION DE RUTINA:** El operador, debe buscar los procedimientos necesarios para fortalecer, depurar y mejorar el control de la operación del sistema de tratamiento, mediante:

- Aplicación de los resultados de las pruebas de laboratorio y otros experimentos.
- Ajustes en los procedimientos de operación y mantenimiento.
- Identificación de los efectos adversos de los desechos de la planta industrial sobre el proceso de tratamiento y sobre los mismos cuerpos receptores.
- Registro de datos, físicos, químicos y bacteriológicos.
- Identificación de deficiencias en los dispositivos de control del proceso.

- Administración económica del sistema de tratamiento.
- Supervisión de la eficiencia y eficacia de operación del personal.
- Mejoramiento del sistema de tratamiento para posibles expansiones, cambios de unidades y partes y mayor grado de tratamiento requerido por la legislación ambiental.
- Mejoramiento de relaciones con, grupos especiales, funcionarios y otras industrias.

## 11.5 PROGRAMA GENERAL DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

El mantenimiento del sistema de tratamiento, puede ser correctivo o preventivo. El mantenimiento preventivo consiste en los trabajos y las precauciones necesarias para reducir la posibilidad de un futuro desperfecto en el sistema de tratamiento. El mantenimiento correctivo, es cuando se realizan las reparaciones necesarias para solucionar el desperfecto que se ha producido.

Para lograr un programa adecuado de mantenimiento, es necesario considerar los siguientes puntos:

- Hacer un programa de revisión rutinaria (bitácoras) de los equipos componentes del sistema de tratamiento.
- Llevar un registro de las piezas de los equipos de tratamiento.
- Hacer un plan de ejecución de operaciones cotidianas.
- Conservar el sistema de tratamiento completamente aseado y ordenado.

El mantenimiento mecánico es de gran importancia, ya que el equipo de tratamiento, debe estar en perfectas condiciones de operación, para que el grado de tratamiento del agua residual sea el adecuado.

Un programa de mantenimiento preventivo debe contar con calendarios, registros, procedimientos y programas de cada una de las actividades a realizar. Estas hojas de registro de servicios son fáciles de organizar y requieren de poco tiempo para su revisión diaria.

La hoja de servicio debe contener los siguientes datos:

- - Nombre del equipo.
- - Registro de cada servicio de mantenimiento requerido con su respectivo número ó título.
- - Frecuencia requerida del servicio.
- - Fecha programada del siguiente servicio.

La información de la hoja de servicio, debe ajustarse a las necesidades de la planta o en su defecto a la recomendada por el fabricante de determinado equipo.

## 11.6 INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO.

El trabajo del operador del sistema de tratamiento, es de mantener limpia la instalación. Sólo de este modo será correcto el funcionamiento del proceso de tratamiento. Los puntos a observar son los siguientes (tomando en cuenta las instrucciones de los fabricantes de los distintos equipos de tratamiento).

- a) Limpieza frecuente del canal de entrada al sistema de tratamiento, limpieza de los tubos de salida de lodo, lavado de los tubos de desagüe del lecho de secado de lodo, limpieza de los fosos de las bombas, limpieza del distribuidor giratorio de los filtros rociadores. El depósito se limpiará según necesidad.
- b) Limpieza de la rejilla de cribado y del desarenador según necesidad.
- c) Limpieza de las instalaciones de entrada y salida de los sedimentadores, retirada de la grasa flotante y el agua con lodo según la necesidad.
- d) En los digestores debe comprobarse el valor del pH, debe destruirse la capa flotante y descargarse el lodo flotante.
- e) Llevar libros de control de todos equipos de tratamiento.
- f) Controlar el suministro y la descarga final del sistema de tratamiento, mediante la vigilancia del pH, DQO, análisis de sustancias tóxicas, así como la determinación del nivel de tratamiento del agua residual.

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Antes de iniciar un proyecto de tratamiento de aguas, la planta industrial necesita considerar los siguientes aspectos:

- ¿Existe necesidad de instalar un sistema de tratamiento?. ¿La generación de contaminantes pueden ser disminuido mediante mejoras en proceso industrial o cambio de materias primas?
- De las alternativas de tratamiento propuestas, ¿Cuál es la que presenta la mejor factibilidad técnica-económica?

La manera de manejar un proyecto de tratamiento de aguas es única para cada tipo, ya sea por los grandes o pequeños volúmenes de agua residual a tratar. Sin embargo todos los proyectos se dividen en tres etapas principales que son:

- Proyecto básico.
- Proyecto ejecutivo.
- Proyecto de obra.

Estableciendo un orden sistemático de los distintos pasos a efectuar en cada etapa del proyecto, se permite un trabajo más eficiente, además de obtener resultados que satisfacen las metas establecidas.

En México, existen pocos proyectos de tratamiento de aguas que se encuentran claramente definidos en cada una de sus etapas de estudio y ejecución, debido a:



- La carencia en el conocimiento del problema real de contaminación y su relación con el proceso industrial que lo generó.
- La falta de estudio a fondo del proceso industrial y de sus condiciones de operación.
- La falta de definición completa de las actividades componentes de cada etapa del proyecto, así como su interrelación.
- La falta de relación entre el proyecto y la realidad técnica, económica, social y cultural de la planta industrial.
- El bajo nivel de capacitación técnica y administrativa del personal que interviene en el proyecto, tanto de la planta industrial como del grupo consultor.

Esto da como resultado que una gran cantidad de sistemas (plantas) de tratamiento, estén actualmente fuera de operación o funcionen en forma deficiente, dejando de cumplir con sus funciones principales de: elemento clave en el abastecimiento de agua a la industria (reutilización de agua tratada), tratamiento del agua residual y preservación del ambiente natural.

La contaminación del agua no escapa al efecto de la contaminación del resto del ambiente (aire y suelo) y la desaparición continua de los diversos ecosistemas. Debido a esto el control de la contaminación debe partir de un programa coordinado único que tome en cuenta la restauración, mejora, preservación del medio ambiental y que desde el diseño de nuevas plantas industriales (y las ya establecidas) se tome en cuenta los lineamientos que marca la normatividad ambiental y así reducir efectivamente el impacto al medio natural circundante.

El futuro del hombre está irremediamente ligado al ambiente, por lo que es urgente conservar y corregir su deterioro.

## APENDICE A

### PROCESOS DE TRATAMIENTO

Por diversas causas, es necesario someter el agua a tratamiento, con la finalidad de eliminar materia orgánica en suspensión y disuelta, organismos patógenos, olores ó sabores desagradables, color ó turbidez excesivos, ciertos minerales y metales disueltos y un conjunto de productos químicos que pueden ser desagradables o potencialmente peligrosas.

Se han desarrollado un conjunto de métodos de tratamiento, el carácter y grado de tratamiento necesarios dependerán de la naturaleza del agua.

Este Apéndice, tiene como objetivo el reunir la información necesaria, para efectuar el dimensionamiento de diversos equipos de tratamiento.

#### CRIBADO

El cribado se realiza por medio de rejas, mallas y tamices; tiene como propósito el remover los sólidos grandes y basura que arrastra consigo el agua residual. Con la eliminación de sólidos se consigue:

- Evitar obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general.
- Interceptar los sólidos que por sus dimensiones, pueden interferir en la operación apropiada de los equipos posteriores de tratamiento.
- Aumentar la eficiencia de los equipos de tratamiento posteriores.

#### CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Existen varios tipos de cribas, pudiéndose realizar su clasificación, de acuerdo a los criterios de inclinación de rejilla y la separación libre entre barras:

#### INCLINACION DE LA REJILLA.

Con referencia a la posición de las barras, malla ó perforación, se clasifican en:

Inclinación de la rejilla	Posición (respecto a la Horizontal (°))
Horizontal	0
Vertical	90
Inclinada	60-45

**SEPARACION ENTRE BARRAS.**

De acuerdo con este criterio, se clasifican en:

TIPO	SEPARACION ENTRE BARRAS (mm)
Finas	1-6
Medianas	6-38
Gruesas	> 38

**LIMPIEZA.**

Las rejas pueden ser de limpieza manual o mecánica, las características recomendadas son:

CARACTERISTICAS DE LA BARRA	LIMPIEZA	
	Manual	Mecánica
Ancho, $d_{rc}$ , mm	5-15	5-15
Profundidad, $Z_{rc}$ , mm	25-75	25-75
Separación entre barras $e_{rc}$ , mm	25-50	15-75
Angulo, respecto a la horizontal, $\theta_{cr}$ , °	45-60	60-90
Velocidad de aproximación del agua $V_a$ , m/s	0.3-0.6	0.6-0.9
Pérdida de carga permisible, $h_l$ , m	0.15	0.15

Datos tomados de: Metcalf & Eddy "Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales", Ed. Labor, España, 1977.

Rejas de limpieza manual:

Se utilizan frecuentemente en plantas pequeñas de tratamiento (< 0.1 m<sup>3</sup>/día materia cribada). Su longitud no debe exceder de lo que pueda fácilmente retirarse a mano con un rastrillo.

**PERDIDA DE CARGA RECOMENDADAS  $h_l$ .**

Barras limpias	0.15 m
Barras sucias	0.80 m

**VELOCIDAD DE APROXIMACION Y PASO DE AGUA RESIDUAL.**

En la literatura, existen un gran número de valores recomendados de velocidad de aproximación ( $V_a$ ) y Velocidad de paso ( $V_r$ ).

MOP 8	$V_a > 0.25$ m/s
Metcalf & Eddy	$V_a = 0.45$ m/s
Babbitt-Bauman	$V_a = 0.60$ m/s (sistema unitario) $V_a = 0.30$ m/s (sistema separativo)
CCM	$V_r = 0.30$ m/s (limpieza manual) $V_r = 0.75$ m/s (limpieza mecánica)
Imhoff	$V_r = 0.90$ m/s (Cribado grueso) $V_r = 0.70$ m/s (cribado mediano)
Imhoff-Fair	$V_r = 0.75$ m/s
Linkhachev	$V_r = 0.8-1.0$ m/s
MOP 8	$V_r = 0.6-1.2$ m/s
Steel	$V_r = 0.90$ m/s

NUMERO DE UNIDADES DE RESERVA.

UNIDADES EN OPERACION	REJILLAS DE RESERVA
1 - 3	1
> 3	2

MATERIA RETENIDA.

SEPARACION LIBRE ENTRE BARRAS	L/Hab <sup>2</sup> año
3	15 - 25
20	5 - 10
40 - 50	2 - 3
Contenido de humedad	> 30 %
Contenido de materia orgánica	75 - 80 %
Contenido de materia inerte	20 - 25 %

Datos tomados de: N.I. Likhachev, I.I. Larin, "Design Handbook of Wastewater Systems"

**DIMENSIONAMIENTO REJILLAS**

En el dimensionamiento de rejillas, son tres los parámetros fundamentales:

- Velocidad de acercamiento,  $V_a$
- Velocidad de paso en las rejillas,  $V_r$
- Pérdida de carga,  $h_L$

PERDIDA DE CARGA A TRAVES DE UNA REJA.

Existen varias fórmulas para el cálculo de la pérdida de carga a través de una reja de cribado.

FORMULA GENERAL:

$$h_L = K_1 \times K_2 \times K_3 \times \frac{V_a^2}{2g}$$

Donde:

- $h_L$  = Pérdida de carga, m
- $V_a$  = Velocidad de acercamiento, m/s
- $g$  = Aceleración gravedad, m/s<sup>2</sup>

Valores de K:

$K_1$  (Atascamiento)

Reja limpia,  $K_1 = 1$

Reja sucia,  $K_1 = 100/C$

$C = 60 - 90 \%$

Donde:

C = Porcentaje de paso obturado.

K<sub>2</sub> (Forma de sección transversal de los barrotes)

K<sub>2</sub> = 0.74 (Circulares).

K<sub>2</sub> = 1.0 (Rectangulares con bordes agudos).

K<sub>2</sub> = 0.76 (Rectangulares con bordes redondeados).

K<sub>2</sub> = 0.37 (Rectangulares con bordes redondeados y caras aguas abajo 0.5 de la cara aguas arriba).

K<sub>3</sub>

Para:

Z = Espesor barrotes, m

C<sub>cr</sub> = Espacio entre barrotes, m

E<sub>cr</sub> = Anchura barrotes, m

h<sub>cr</sub> = Altura vertical sumergida, barrotes, m

$\frac{Z}{C_{cr} + h_{cr}}$	$C_{cr} / (C_{cr} + d)$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	245	51.5	18.2	8.25	4.0	2.0	0.97	0.42	0.13	0
0.2	230	48.0	17.4	7.70	3.75	1.87	0.91	0.40	0.13	0.01
0.4	221	46	16.6	7.40	3.60	1.80	0.88	0.39	0.13	0.01
0.6	199	42	15	6.60	7.20	1.60	0.80	0.36	0.13	0.01
0.8	164	34	12.2	5.50	2.70	1.34	0.66	0.31	0.12	0.02
1.0	149	31	11.1	5.00	2.40	1.20	0.61	0.29	0.11	0.02
1.4	137	28.4	10.3	4.60	2.25	1.15	0.58	0.28	0.11	0.03
2.0	134	27.4	9.90	4.40	2.20	1.13	0.58	0.28	0.12	0.04
3.0	132	27.5	10.0	4.50	2.24	1.17	0.61	0.31	0.15	0.05

### FORMULA DE KIRSCHMER

Kirschmer, propuso la siguiente ecuación, para determinar la pérdida de carga, h<sub>L</sub>

$$h_L = \beta \times \left[ \frac{E_{cr}}{C_{cr}} \right]^4 \times \frac{V a^2}{2g} \times \text{sen } \theta_a$$

**Valores de B para distintas formas de barras**

Tipo de Barra	B
Rectangular con bordes agudos	2.42
Rectangular con cara aguas arriba redondeada	1.83
Circular	1.79
Rectangular con ambas caras redondeadas	1.67

**FORMULA DE VELOCIDAD**

$$h_c = \frac{(V_r - Va^2)}{2g} \times \frac{1}{0.7}$$

**ALGORITMO DE CALCULO, UNIDAD DE REJAS Y REJILLAS**

1. Establecer los siguientes parámetros de diseño

Canal de acercamiento.

- $Q_i$  : Flujo influente, m<sup>3</sup>/s
- $V_a$  : Velocidad de acercamiento en canal, m/s
- $a_c$  : Ancho del canal, m
- $h_{bc}$  : Bordo libre del canal, m

Unidad de rejas.

- $E_{cr}$  : Anchura entre barrotes, m
- $C_{cr}$  : Espacio entre barras, m
- $\theta_{cr}$  : Angulo de inclinación, a la horizontal, °
- $V_r$  : Velocidad a traves de la reja, m/s

2. Cálculo del área hidráulica,  $A_{cr}$ .

$$A_{cr} = \frac{Q_i}{V_a} , m^2$$

3. Cálculo del tirante del canal,  $h_{cr}$

$$h_{cr} = \frac{A_{cr}}{a_c} , m$$

4. Cálculo de la altura total del canal de rejas,  $H_{cr}$

$$H_{cr} = h_{cr} + h_{bc} , m$$

5. Cálculo de la longitud total de la reja,  $L_T$

$$L_T = \frac{Hcr}{\text{sen } \theta_\alpha}, \text{ m}$$

6. Cálculo del número de espacios libres,  $N_e$

$$N_e = \frac{(a_\alpha + E_\alpha)}{(C_\alpha + E_\alpha)}$$

7. Número de barras,  $N_b$

$$N_b = N_e - 1$$

Si queda una fracción de  $N_b$ ; se deberá subir al número entero superior siguiente y calcular nuevamente las dimensiones y demás parámetros del canal, comprobando que estas quedan dentro del rango recomendado de velocidades de acercamiento  $V_a$  y entre barras,  $V_r$ .

8. Cálculo de la pérdida de carga provocada por la rejas,  $h_L$

Se calcula por medio de la ecuación General, Kirschmer ó de Velocidad (ver sección de pérdidas recomendadas). Si la pérdida de carga es muy alta, aumentar el espaciamiento entre barras  $C_{TC}$ , hasta quedar dentro del rango de valores recomendados.

## DILACERADORES

Los trituradores de residuos "Dilaceradores", en lugar de separar los sólidos los reduce de tamaño, para que no puedan tener efectos perjudiciales sobre los equipos situados a continuación.

Existen dos tipos de dilaceradores:

- Dilaceradores sin elevación de agua.
- Dilaceradores con elevación de agua.

En los dos casos se trata de aparatos adaptados especialmente para reducir los sólidos a unos milímetros de diámetro (6-19 mm).

Los sólidos una vez reducidos de tamaño, si no son degradados en los reactores biológicos, son separados en los tanques de sedimentación.

A continuación se presenta una tabla con las características de los dilaceradores.

Tipo de Dilacerador	Caudales m <sup>3</sup> /día	Altura máxima del agua en el canal de llegada en m.	Pérdida de carga máxima, m	Altura manométrica de impulsión, m	Potencia del motor eléctrico, Hp
Sin elevación de agua	5 a 8000	0.20 - 1.20	0.10 - 0.36		0.25 - 4
Con elevación de agua	50 - 300			0 - 0.2	7.5 - 20

La elección del dilacerador se hace en base al caudal. En plantas pequeñas se suele instalar una única unidad, con capacidad del caudal punta y tiene un canal de by-pass dotado de una reja de limpieza.

En instalaciones grandes se colocan varias unidades, de forma que cuando una esté en mantenimiento, la de reserva opere.

Conviene consultar los manuales preparados por los fabricantes de este equipo en base que hacen referencia a dimensiones del canal, capacidades, tirantes de agua y requerimientos de potencia.

## DESARENADORES

El propósito de un desarenador es separar arenas. El término arena en tratamiento de aguas, corresponde a partículas que poseen las siguientes características siguientes:

- No son putrecibles.
- Tiene velocidades de sedimentación superiores a la de los sólidos orgánicos putrecibles.

Algunas de las razones para remover las arenas presentes en el agua residual antes de la etapa de enfriamiento primario y secundario son:

- Aumento de la densidad del lodo, lo que dificulta su separación de las paredes y del fondo de los depósitos, así como en las conducciones y la consecuente pérdida de volumen útil.
- Prevenir el riesgo de atascamiento por acumulación en los canales y tuberías, sobre todo en los cambios de dirección.
- Proteger, a los elementos mecánicos en movimiento de la abrasión y evitar con esto una operación anormal.

## TIPOS DE DESARENADORES

Dos técnicas son la base de los procedimientos utilizados en la separación de arena:

- Separación natural por decantación en canales ó tanques apropiados.
- Separación dinámica con procesos utilizando inyección de aire o efectos de separación centrífuga.



Así mismo los desarenadores se clasifican en:

- Desarenadores de flujo horizontal.
- Desarenadores de flujo vertical.
- Desarenadores de flujo inducido.

Cabe mencionar que en esta sección únicamente se analizará el desarenador de flujo horizontal.

### **DESARENADORES DE FLUJO HORIZONTAL**

Consiste en un ensanchamiento en la sección del canal de pretratamiento de forma que reduce la velocidad de corriente a valores de velocidad en la que exista precipitación de granos de arena.

Información típica de desarenadores de flujo horizontal.

Características	Valor	
	Intervalo	Único
Tiempo de retención, s	45 - 90	60
Velocidad horizontal, $V_{hd}$ , m/s	0.25 - 0.4	0.3
Velocidad de sedimentación, $V_{sd}$ para la eliminación de: <sup>a</sup>		
partículas $d = 0.21$ mm, m/s	0.017 - 0.022	0.0192
partículas $d = 0.15$ mm, m/s	0.01 - 0.015	0.0125
Pérdida de carga en la sección de control como porcentaje de la		
profundidad del canal, %	30 - 40	36 <sup>b</sup>
Incremento en la longitud del canal por turbulencia en la entrada y salida.	$2Hm^c - 0.5L_d^d$	

<sup>a</sup> Si el peso de la arena es substancialmente menor a 2.65, deben utilizarse velocidades inferiores.

<sup>b</sup> Sección de control del canal de aforo tipo Parshall.

<sup>c</sup>  $Hm$  = Profundidad máxima del desarenador.

<sup>d</sup>  $L_d$  = Longitud teórica del desarenador.

#### Longitud útil:

La longitud útil del desarenador no debe ser mayor de 20- 25 m (máximo).

La longitud útil debe ser tal que el final de las curvas de sedimentación de los granos caiga dentro de ella. Puede efectuarse un cálculo de comprobación según la tabla siguiente.

Díámetro de los granos que se depositan (mm)	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.01
Velocidades de sedimentación m/s *10 <sup>3</sup>						
Arena de cuarzo.	139.4	71.67	22.77	6.67	1.7	0.083
Carbón.	42.22	21.11	7.22	2.11	0.42	0.022
Partículas suspendidas en el agua residual doméstica	33.88	16.94	5.0	0.83	0.21	0.002

Nota: Los valores intermedios se interpolan linealmente.

Así mismo las velocidades de sedimentación,  $V_s$  (m/s), pueden calcularse numéricamente a partir del diámetro,  $d$  (mm), de la manera siguiente:

Arena de cuarzo	$V_s = 0.67 \cdot d^2$
Carbón	$V_s = 0.182 \cdot d^2$
Partículas en el agua residual	$V_s = 0.109 \cdot d^2$

Experimentalmente se ha determinado que la velocidad de caída de materia orgánica es de 0.03 a 0.04 m/s

### VELOCIDAD DE ACCESO AL DESARENADOR

La velocidad en la corriente en los canales de la planta de tratamiento y en los que se encuentran antes y después de los desarenadores, debe ser de 0.6 m/s, como mínimo para evitar toda posible sedimentación. sin embargo no debe sobrepasar los 3.5 m/s de velocidad máxima que admite el canal de concreto.

### VELOCIDAD CRITICA

Cualquiera que sea el tipo de desarenador y los parámetros de dimensionamiento adoptados, la velocidad del flujo de corriente debe ser inferior a aquella para la cuál se inicia el arrastre de la arena retenida. Esta velocidad es denominada "velocidad crítica", " $V_c$ ", que calculada por la siguiente ecuación.

$$V_c = (50000 \cdot (S-1) \cdot d)^{0.5}$$

Donde:

- $V_c$  = Velocidad crítica, m/s
- $S$  = Peso específico,  $g/cm^3$
- $d$  = Diámetro de la partícula, m

### CANTIDAD DE ARENA DEPOSITADA EN UN DESARENADOR

La cantidad de arena depositada en un desarenador depende a parte de los factores geométricos de su dimensionamiento, de una gran cantidad de factores heterogéneos como es el sistema de drenaje, estado de pisos y terrenos, sistema de limpieza de estos, frecuencia e intensidad de las precipitaciones. Entre los criterios que se manejan frecuentemente, considerando tiempo seco son:

Thomas:	4-80 l/m <sup>3</sup> (sistema unitario)	6-38 l/m <sup>3</sup> (sistema separativo)
Babbitt-Bauman	8-16 l/m <sup>3</sup>	
Steel	15-60 l/100m <sup>3</sup>	
Imhoff-Guerree	5 l/hab/año (edificación densa)	12 l/hab/año (edificación diseminada)
Hardenberh-Rodie	15-25 l/100 m <sup>3</sup>	

### CONTROL DE LA VELOCIDAD DE FLUJO EN LOS DESARENADORES

La eficiencia de los desarenadores está basada en el control de la velocidad del agua en el mismo, independientemente de los flujos que lleguen a la planta de tratamiento, esto puede conseguirse mediante las siguientes formas:

- Sección adecuada del desarenador:
- Vertedor de variación lineal del caudal de salida.
- Canal de medición y regulación tipo Parshall.

### ALGORITMO DE CALCULO, UNIDAD DE DESARENACION HORIZONTAL

1. Establecer los siguientes parámetros de diseño:

- $Q_i$  = Flujo influente de diseño, m<sup>3</sup>/s  
 $V_{hd}$  = Velocidad horizontal media de flujo, m/s  
 $t_{rd}$  = Tiempo de residencia teórico, s  
 $h_{bd}$  = Bordo libre del canal desarenador, m

2. Cálculo del área hidráulica del desarenador,  $A_M$

$$A_M = \frac{Q_i t_{rd}}{V_{hd}}, \text{ m}^2$$

3. Establecer uno de los dos parámetros siguientes

- a) Velocidad de sedimentación de la partícula,  $V_{sd}$ , m/s  
 b) Ancho del canal,  $a_d$ , m

- Si se establece el ancho del canal,  $a_d$ , se debe calcular el tirante hidráulico,  $h_{td}$  (de diseño)

$$h_{td} = \frac{A_M}{a_d}, \text{ m}$$

*Pasar al punto 4*

- Si se estableció la velocidad de sedimentación,  $V_{sd}$ , se calcula la altura hidráulico,  $h_{td}$  de la siguiente manera:

$$h_{td} = V_{sd} \cdot t_{rd}, \text{ m}$$

- Cálculo ancho del canal desarenador,  $a_d$

$$a_d = \frac{A_M}{h_{td}}, \text{ m}$$

4. Cálculo de la altura total del desarenador,  $H_d$

$$H_d = h_{bd} + h_{td}, \text{ m}$$

5. Cálculo de la longitud del desarenador,  $L_d$

$$L_d = V_{hd} \cdot t_{rd}, m$$

6. Cálculo de la longitud del canal de amortiguamiento,  $L_{ad}$

- De acuerdo al criterio correspondiente de amortiguamiento de turbulencia a la entrada y a la salida del desarenador se establece que: Se debe proveer dos veces el tirante ó la mitad de la longitud teórica del canal a la entrada y salida.

Así:  $L_{ad \text{ entrada}} = 2 \cdot h_{td}$        $L_{ad \text{ salida}} = 2 \cdot h_{td}$   
 esto es:  $L_{ad \text{ total}} = 4 \cdot h_{td}$

7. Cálculo de la longitud total del desarenador,  $L_{Td}$

$$L_{Td} = L_{ad \text{ total}} + L_d$$

8. Establecimiento de la sección de control de velocidad

Establecer el dispositivo de control de velocidad a la salida del desarenador( ver punto referente a control de velocidad)

## FLOCULACION

La floculación es el proceso de agitación suave y continua, mediante el cual las partículas suspendidas en el agua se juntan formando masas más grandes de manera que se puedan remover con facilidad en los procesos de tratamiento subsecuentes, especialmente en la sedimentación.

Los floculadores se dividen en :

- Floculadores mecánicos.
- Floculadores hidráulicos.

Los elementos principales de los sistemas de floculación mecánico son: agitadores, motores de impulsión, reguladores y reductores de velocidad. Un método más práctico si se dispone de flujo por gravedad es el utilizar floculadores hidráulicos que no requieren de equipo mecánico ni suministro continuo de energía.

En este apéndice únicamente serán presentados los floculadores hidráulicos.

## FLOCULADORES HIDRAULICOS

Actualmente existen varios tipos de floculadores hidráulicos instalados en plantas de tratamiento. Los floculadores de canal de mamparas son los más utilizados; existen otros tipos de floculadores: de chorro hidráulico y contacto superficial.

**CRITERIOS DE DISEÑO**

El gradiente de velocidad (G) para floculadores, se determina a partir de las ecuaciones desarrolladas por Camp y Stein (1943).

Floculación mecánica

$$G = \left[ \frac{P}{(\mu \times V)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Floculación hidráulica.

$$G = \left[ \frac{Q \rho g h}{\mu V} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{\rho g h}{\mu t} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

- G = Gradiente de velocidad, s<sup>-1</sup>
- ρ = Densidad del agua, Kg/m<sup>3</sup>
- h = Pérdida de carga, m
- μ = Viscosidad dinámica, Kg/m.s
- t = Tiempo de residencia, Q/V, s
- Q = Gasto de agua, m<sup>3</sup>/s
- P = Potencia, Kg.m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup> (Watts)
- V = Volumen del floculador, m<sup>3</sup>
- g = Constante de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>

La potencia requerida para generar turbulencia es una función de la caída de presión.

El diseño de los sistemas de floculación, el número total de colisiones de partículas y por lo tanto la acción de formación de flóculos se indica como una función del producto del gradiente de velocidad por el tiempo de residencia. Los intervalos de los valores de G y Gt son dados por la siguiente tabla.

Tipo	Gradiente de Velocidad G s <sup>-1</sup>	Gt
Remoción de turbiedad o color (sin recirculación de sólidos).	20 - 100	20,000 - 150,000
Remoción de turbiedad o color (con recirculación de sólidos).	75 - 175	125,000 - 200,000
Reactores de contacto de sólidos.	130 - 200	20,000 - 250,000

Los gradientes de velocidad en un tanque de floculación se pueden disminuir gradualmente para que sean altos en la entrada y bajos en la salida y de esta manera lograr un mezclado y una aglomeración más eficiente de las partículas floculadas.

## FLOCULADORES DE CANALES DE MAMPARAS

En los floculadores de canales de mamparas, el mezclado se logra invirtiendo el flujo del agua a través de canales formados por mamparas.

Los floculadores de canales de mamparas están limitados a plantas de tratamiento relativamente grandes (100 l/s) ó donde el gasto pueda mantener en los canales caídas de presión suficientes para el mezclado rápido sin que las mamparas tengan que colocarse demasiado juntas (lo cuál dificultaría la limpieza)

Los floculadores de canales de mamparas pueden clasificarse en:

- Floculadores de flujo vertical.
- Floculadores de flujo horizontal.

Los floculadores de flujo horizontal son más fácil de limpiar que los de flujo vertical. La profundidad del agua en los canales de las unidades de flujo vertical puede ser de hasta 3 m y por consiguiente se requiere de menos área superficial que en el caso de unidades horizontales.

## CAIDA DE PRESION

Para propósitos de diseño, la caída de presión en las curvas de los canales de mamparas se obtiene con la fórmula siguiente:

$$h = k \left( \frac{V^3}{2g} \right)$$

Donde:

- h = Caída de presión, m
- v = Velocidad del agua en el canal, m/s
- g = Constante de la gravedad, 9.81 m/s<sup>2</sup>
- k = Constante empírica, (2.5 - 2.4)

## NUMERO DE MAMPARAS

El número de mamparas necesarias para lograr el gradiente de velocidad deseado tanto en unidades de flujo horizontal como de flujo vertical, se puede calcular a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\text{Para flujo horizontal: } n = \left\{ \left[ \frac{2\mu d}{\rho(1.44 + f)} \right] \left[ \frac{HLG}{Q} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Para flujo vertical: 
$$n = \left\{ \frac{2\mu}{\rho(1.44 + f)} \left[ \frac{WLG}{Q} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- n = Número de mamparas en el tanque
- H = Profundidad del agua en el tanque, m
- L = Longitud del tanque, m
- W = Ancho del tanque, m
- G = Gradiente de velocidad, s<sup>-1</sup>
- Q = Gasto, m<sup>3</sup>/s
- t = Tiempo de residencia, s
- μ = Viscosidad dinámica, Kg/m.s
- ρ = Densidad del agua, Kg/m<sup>3</sup>
- f = Coeficiente de fricción en las mamparas

**CRITERIOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE FLOCULADORES DE CANAL DE MAMPARAS.**

La velocidad del agua en las unidades de flujo horizontal y de flujo vertical generalmente varían de 0.3 a 0.1 m/s. El tiempo de residencia varía de 15 a 30 minutos. En general los gradientes de velocidad para ambos tipos de floculadores, debe variar entre 10 y 100 s<sup>-1</sup>. La siguiente tabla enumera algunos de los criterios en el diseño de floculadores.

<b>Floculador de flujo horizontal</b>	
1.	La distancia entre mamparas no debe ser menor de 0.45 m, para permitir la limpieza.
2.	La distancia libre entre el extremo de cada mampara y el muro es de aproximadamente de 1.5 veces la distancia entre mamparas; esta no debe ser menor de 0.60 m.
3.	La profundidad del agua no debe ser menor de 1.0 m.
4.	Evitar utilizar mamparas de asbesto-cemento y partes metálicas, ya que se corroen, al pH de coagulación con sulfato de aluminio.

<b>Floculador de flujo vertical</b>	
1.	La distancia entre mamparas no debe ser menor de 0.45 m.
2.	La profundidad debe ser de 2 - 3 veces la distancia entre mamparas.
3.	El espacio libre entre el borde superior de la mampara y la superficie del agua o el borde inferior de una mampara y el fondo del tanque, debe ser aproximadamente 1.5 veces la distancia entre mamparas.
4.	El material para las mamparas es el mismo para las unidades de flujo horizontal.
5.	Se debe practicar orificios de escurrimiento para el desagüe.

Datos tomados de: Schulz Christopher R. " Tratamiento de Aguas Superficiales para Paises en Desarrollo".

La configuración de las mamparas que genera un gradiente disminuido de velocidad específico, se determina mejor en condiciones reales de funcionamiento, ya sea cambiando el espaciamiento o el número de mamparas del tanque de floculación hasta lograr la caída de presión deseada. Arboleda (1973) recomienda un gradiente disminuido de velocidad desde aproximadamente  $75 \text{ s}^{-1}$  en la entrada, hasta  $10 - 15 \text{ s}^{-1}$  en la salida de los floculadores.

**ALGORITMO DE CALCULO FLOCULADOR DE CANAL DE MAMPARAS DE FLUJO HORIZONTAL**

1. Establecer los siguiente parámetros de diseño:

- $Q_i$  = Gasto influente al floculador,  $\text{m}^3/\text{s}$
- $t$  = Tiempo de residencia, s
- $N_s$  = Número de secciones en que se divide el floculador.
- $G$  = Gradiente de velocidad,  $\text{s}^{-1}$ , para cada uno de las secciones.
- $W$  = Ancho del floculador, m
- $H$  = Tirante en el floculador, m

2. Cálculo del volumen total del tanque de floculación  $V_f$

$$V_f = Q_i t, \text{ m}^3$$

3. Cálculo del largo total del floculador, L

$$L = V_f / (L \cdot H), \text{ m}$$

4. Cálculo del ancho de cada sección del floculador,  $W_i$

$$W_i = W / N_s, \text{ m}$$

5. Cálculo del número de mamparas en la primera sección del floculador, n

$$n = \{ [(2\mu t) / \rho (1.44 + f)] [(HLG) / Q_i]^2 \}^{1/3}$$

6. Espaciamiento entre mamparas,  $E_m$

$$E_m = W / n, \text{ m}$$

- $E_m$ , debe satisfacer los requerimientos mínimos de espaciamiento, ver tabla de criterios correspondiente.

7. Cálculo de la caída de presión en la sección del floculador, h

$$h = \frac{\mu}{\rho g} \times G^2, \text{ m}$$

- El valor de h, debe quedar dentro de los valores recomendados.

8. Repetir la misma serie de cálculos (del punto 5 al 7), para cada uno de las secciones de floculación restantes.



## SEDIMENTACION

El proceso de sedimentación en tratamiento de aguas, facilita el asentamiento y remoción de las partículas mas grandes y pesadas suspendidas en el agua. El agua entrante puede provenir de un proceso de floculación fisicoquímico ó biológico.

Las dos clasificaciones principales para el diseño de tanques de sedimentación son:

- Unidades de flujo horizontal.
- Unidades de flujo vertical.

El diseño de ambos tipos de unidades implica factores tales como forma, número de tanques, dimensiones, velocidad y dirección de flujo, tiempo de retención, volumen de almacenamiento de lodos, métodos de remoción de lodos, arreglos de entrada y salida y características del agua floculada entrante.

Los principios que gobiernan el diseño y construcción de los tanques de sedimentación de flujo horizontal, se encuentran bien estudiados en textos de autoridad reconocida como: American Water Works Association, 1971; Cox, 1964; Fair, Geyer y Okun, 1968; Hudson, 1981, Hernández Muñoz, 1991, etc.

En esta parte del Apéndice, únicamente se tratará a las unidades de flujo horizontal.

### SEDIMENTACION DE FLUJO HORIZONTAL

La sedimentación de flujo horizontal es un proceso de separación por gravedad; en el tanque de sedimentación se presentan velocidades muy bajas que permiten que las partículas con peso específico mayor que el del agua, se sedimenten en el fondo del tanque.

Los sedimentadores de flujo horizontal sin remoción mecánica de lodos son muy ventajosos para pequeñas industrias. Son varias las ventajas de las unidades de flujo horizontal respecto a las unidades de flujo ascendente:

- *El proceso es más tolerable a las variaciones hidráulicas y de calidad.*
- *El proceso proporciona un rendimiento predecible en la mayoría de las condiciones climáticas y operacionales.*
- *Los resultados a nivel de laboratorio, son aplicables a nivel de planta.*
- *los costos de construcción son bajos y permite futuras ampliaciones.*
- *La operación y mantenimiento son sencillos.*

### CRITERIOS DE DISEÑO

Tres criterios básicos regulan el diseño de los tanques de sedimentación:

- Cantidad de agua que se va a tratar.
- Tiempo de residencia.
- Gasto superficial (gasto de derrame).

El gasto superficial se define como la relación entre el gasto influente y el área superficial y puede expresarse en unidades de gasto por unidad de área superficial del tanque ( $m^3/día/m^2$ ). Esto es equivalente a la velocidad; por lo tanto algunos textos de diseño utilizan a la velocidad de sedimentación como parámetro de carga. Las fórmulas básicas que se aplican a los tanques de sedimentación son:

- $t = 24 \cdot V / Q_i$
- $V_s = 24 \cdot H / t$
- $V_s = Q / WL$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación,  $m^3/día/m^2$

$t$  = Tiempo de residencia, h

$Q_i$  = Gasto,  $m^3/día$

$V$  = Volumen del tanque,  $m^3$

$H, L, W$  = Profundidad, ancho y largo del tanque, m

Esta fórmulas se pueden utilizar en combinación con ciertos métodos gráficos (por ejemplo: distribución de frecuencias acumulativas) para determinar las velocidades de sedimentación de las partículas en el agua residual.

Mediante pruebas a escala laboratorio utilizando cilindros de plástico iguales en profundidad al tanque propuesto, con puntos de extracción a diferentes niveles y llenos con muestra de agua residual, se obtienen datos de sedimentación. Las muestras se toman a intervalos de tiempo regulares para medir la turbiedad a varias profundidades del cilindro, lo cual da una indicación de la tasa de sedimentación.

Si el periodo de sedimentación es corto y se forma una separación distinguible entre la zona superior clarificada y la zona inferior de sólidos sedimentados, entonces la etapa tratamiento de floculación, puede no ser necesaria. Si por otra parte, el periodo es relativamente largo y las dos zonas no están bien definidas, entonces es probable que este presente material coloidal y la etapa previa de floculación es necesaria.

Uno de los criterios prácticos ha sido sugerido por Smethurst (1979). En las pruebas de sedimentación de laboratorio, el tiempo que se requiere para que los sólidos suspendidos promedio del agua en todos los puntos de extracción arriba de la zona de lodos disminuya a una concentración de  $2 \text{ mg/L}$ , se debe multiplicar por un factor de seguridad de 3 para obtener el tiempo de residencia del tanque de sedimentación propuesto.

### VELOCIDAD DE SEDIMENTACION Y TIEMPO DE RESIDENCIA.

La siguiente tabla muestra valores recomendados de gastos superficiales (velocidades de sedimentación) y tiempos de residencia para varias condiciones que se pueden encontrar en la práctica.

Los valores pueden variar de 20 - 60  $m^3/día$ , dependiendo del tipo de planta y del pretratamiento utilizado. También en esta tabla se puede ver que el mezclado y una floculación eficaz (D) puede reducir considerablemente los tiempos de residencia requeridos e incrementar los gastos superficiales, permitiendo así el diseño de tanques de sedimentación mas pequeños y menos costosos.

TIPO	DESCRIPCION	GASTO SUPERFICIAL m <sup>3</sup> /día	TIEMPO DE RESIDENCIA, h
A	Instalación pequeña de operación precaria-	20-30	3-4
B	Instalación planificada con tecnología nueva y operación razonable.	30-40	2.5-3.5
C	Instalación planificada con tecnología nueva y buena operación.	30-45	2-3
D	Instalación grande con tecnología nueva y excelente operación, con medidas para añadir coadyudantes coagulantes cuando sea necesario.	40-60	1.5-2.5

### ESTRUCTURA DE ENTRADA

Las estructuras de entrada se deben diseñar de tal manera que el agua floculada que entra al tanque, se distribuya uniformemente a través del área transversal completa de la zona de entrada sin causar turbulencia excesiva, lo cual fragmentaría los flocúlos. En el diseño de mamparas perforadas para tanques de sedimentación, se deben contemplar cuatro requerimientos básicos:

- La velocidad a través de las perforaciones debe ser aproximadamente 4 veces más alta que cualquiera de las velocidades de aproximación, afin de igualar la distribución de flujo tanto horizontal como vertical.
- Para evitar fragmentar los flocúlos, el gradiente de velocidad a través de los conductos y perforaciones de entrada se debe tener a un valor cercano ó un poco mas alto, que el de la última perforación del floculador.
- Se debe instalar el máximo posible de perforaciones, afin de reducir la longitud de la zona de turbulencia de entrada producida por la difusión de los chorros sumergidos provenientes de las perforaciones de entrada de la mampara perforada.
- La configuración de las perforaciones debe ser tal que asegure que los chorros de descarga, dirijan el flujo hacia la salida del tanque.

### ESTRUCTURAS DE SALIDA

Los vertederos ó artesas perforadas son las estructuras mas utilizadas para sacar del tanque sedimentador el agua efluente. la longitud de los vertedores se debe seleccionar de tal manera que se eviten las velocidades altas de aproximación y la consecuente perturbación de la capa de lodos. La fórmula siguiente es útil para determinar una longitud aceptable de vertedero (IRC, 1981)

$$L = 0.2 \cdot Q / HV_s$$

Donde:

- L = Longitud de vertedero combinada, m
- Q = Gasto, m<sup>3</sup>/día
- H = Profundidad del tanque, m
- V<sub>s</sub> = Velocidad de sedimentación, m/s

Los vertederos triangulares ajustables son convenientes para asegurar un flujo uniforme a través de la pila colectora, especialmente cuando se utilizan gastos bajos de derrame. Se construyen en tiras metálicas con muescas en V de aproximadamente 0.05 m de profundidad y una separación entre sí de 0.15 a 0.30 m y se sujetan con tornillos a la pared de concreto del tanque colector.

### SEDIMENTACION EN PLACAS INCLINADAS Y TUBERIA

las siguientes ecuaciones obtenidas de estudios de laboratorio y consideraciones geométricas se pueden utilizar para el diseño de sedimentadores de tubos y placas inclinadas.

$$V_{sc} = \frac{kV_0}{\text{sen } \theta + L_R \cos \theta}$$

$$L_R = \frac{L}{e}$$

$$L_U = L_R - 0.013R_N$$

Donde:

- $V_{sc}$  = Gasto superficial crítico ó velocidad de sedimentación, m/día.
- $k$  = Factor de eficiencia (1.0 para placas inclinadas; 1.33 para tubos circulares).
- $V_0$  = Gasto superficial del área de sedimentación de alta velocidad, m/día.
- $\theta$  = Angulo de inclinación de las placas en el sedimentador, °.
- $L_R$  = Profundidad relativa.
- $L$  = Longitud de las placas o tubos, m.
- $e$  = Distancia perpendicular entre placas ó diámetro de tubo, m.
- $L_U$  = Profundidad relativa efectiva.
- $R_N$  = Número de Reynolds.

La ecuación del gasto superficial, se puede simplificar, si se ignora el factor de eficiencia del sedimentador:

$$V_{sc} = \frac{Q}{A_0 \times f} = \frac{Q}{A}$$

Donde:

- $f$  =  $\text{sen } \theta + \cos \theta$
- $A$  = área superficial del tanque convencional de sedimentación horizontal, m<sup>2</sup>.
- $A_0$  = área superficial de sedimentación de alta velocidad, m<sup>2</sup>.

Para un flujo unitario  $Q$ :  $A_0 = A/f$

El factor  $f$  se convierte, en el número de veces que el área de un tanque de sedimentación horizontal debe ser dividida para obtener un área de sedimentación de placas inclinadas o de tubos. Por ejemplo: Para una profundidad relativa efectiva  $L_u = 20$  y un ángulo  $U = 60$ ; el factor de área  $f = 10.9$ .

### ALGORITMO DE CALCULO DE UN SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS

1. Establecer los siguientes parámetros de diseño:

Tanque sedimentador:

- $Q_i$  = Gasto influente al sedimentador,  $m^3/s$ .
- $L$  = Largo del sedimentador, m.
- $W$  = Ancho del sedimentador, m.
- $H$  = Tirante del sedimentador, m.

Placas de sedimentación:

- $\theta$  = Angulo de inclinación de las placas de sedimentación,  $^\circ$ .
- $s_t$  = Separación de cada una de las placas, m.
- $a_p$  = Ancho de cada placa de sedimentación =  $a_s$ , m.
- $l_p$  = Largo de cada placa de sedimentación, m.
- $e_p$  = Espesor de cada placa de sedimentación, m.

2. Cálculo de la tasa de carga superficial del tanque,  $V_s$

$$V_s = Q_i / (W \cdot L), \text{ m/s}$$

3. Cálculo de la longitud relativa del sedimentador,  $L_R$

$$L_R = L/e$$

4. Cálculo de la profundidad relativa efectiva,  $L_u$

$$L_u = L_R - 0.013R_N$$

5. Cálculo del área total requerida para la sedimentación de alta velocidad  $A_{av}$

$$A_{av} = \frac{Q_i \times k}{V_{ac} (\sin \theta + L_u \cos \theta)}$$

6. Cálculo de la longitud del módulo de placas  $l_{mp}$

$$l_{mp} = A_{av} / W$$

7. Cálculo del número de placas necesarias,  $N_{np}$

$$N_{np} = l_{mp}/s_t$$

8. Cálculo del gasto superficial del área de sedimentación,  $V_o$

$$V_o = V_{sc}(\sin\theta + Lu \cdot \cos\theta)/k$$

## BIBLIOGRAFIA

- American Society for Testing and Materials.** *Manual de Aguas para Usos Industriales*, 1a. ed. México. Limusa, S.A., 1991.
- BACA U. Gabriel,** *Evaluación de Proyectos*, 2da. Ed. México. McGraw-Hill Inc., 1990.
- BESSELIEVRE B. Edmund and MAX Schwartz,** *The Treatment of Industrial Wastes*, 1a. Ed. USA. McGraw-Hill Inc., 1976.
- CRAME L.W.,** "Cut Wastewater Treatment Cost", *Hydrocarbon Processing*, May. 1976, pp. 92-94.
- CHEREMISINOFF and YOUNG.** *Pollution Engineering Practice Handbook*, USA. Ann Arbor Science, 1985.
- ECKENFELDER W. Wesley,** "Economics of Wastewater Treatment", *Chem. Eng.*, August 25, 1969, pp. 109-118.
- ECKENFELDER W. Wesley Jr.,** *Industrial Water Pollution Control*. 1a. ed. USA. McGraw-Hill, 1989.
- ECKENFELDER W. Wesley Jr.,** "Wastewater Treatment", *Chem. Eng.*, Sep. 2, 1985, pp. 60-74.
- GILES V. Ronald,** *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*, 1a. Ed. Colombia, 1978.
- GUTHRIE, K. M.** "Capital Cost Estimating", *Chem. Eng.*, March 24, 1969, pp. 114-142.
- G.M. Fair, J.C. Charles & D.A. Okun,** *Purificación de Aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*, Vol. II, 1a. ed., México. Limusa, S.A., 1971.
- HOLIDAY D. Allan,** "Conserving and Reusing Water", *Chem. Eng.*, April 19, 1982, pp. 118-137.
- HOLLAND F.A.,** *Engineering Economics for Chemical Engineers*, *Chem. Eng.*, June 25, 1973, pp. 103-107.

**KANO G. María y MUÑOS R. Graciela**, Dimensionamiento y Selección Técnica-Económica de procesos de tratamiento de aguas residuales, Tesis Fac. de Química, UNAM, México. 1991.

**LEON Sandoval E. I.**, Criterios para Evaluación de la Calidad del Agua Residual Proveniente de Zonas Industriales, Tesis Fac. de Química, UNAM, México. 1983.

*Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988.

**LIKHACHEV N.I., LARIN LL., KHASKIN S.A., ALFEROVA L.A.**, Design Handbook of Wastewater Systems, 2a. Ed. USA. Allerton Press., 1986.

**LOPEZ Alegría Pedro**, Abastecimiento de Agua Potable y Disposición y Eliminación de Excretas, Instituto Politécnico Nacional, México. 1990.

**LOZANO Ríos Leticia**, Administración de Proyectos, Cuadernos de Posgrado Núm. 16, Fac. de Química, UNAM, México. 1975.

**LUND F. Herbert**, Industrial Pollution Handbook, 1a. Ed. USA. McGraw-Hill Inc., 1971.

**METCALF & EDDY**, Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales, 1a. Ed. Traducido al español por Labor S.A., España. 1977.

**NALCO CHEMICAL COMPANY**, The Nalco Water Handbook, 2a. ed. USA, McGraw-Hill, 1988.

**PERRY Robert H.**, Chemical Engineers' Handbook, 6a. Ed. USA. McGraw-Hill Inc., 1984.

**PETERS, Max S.**, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 3a. Ed. USA. McGraw-Hill Inc., 1980.

**RAMALHO R. S.**, Introduction to Wastewater Treatment Process, 2a. Ed. USA. Academic Press Inc., 1983.

**RAMOS Hernández Judith Guadalupe**, Tratamiento de un Efluente Terciario para su Potabilización, Tesis Fac. de Química, UNAM, México, 1991.

**RASE Howard F.**, Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso, 1a. ed. México, CECSA, 1973.



**ROBERTSON J. H.**, "Water Pollution Control"; Chem. Eng., June 30, 1980, pp. 102-119.

**SHULZ R. Christopher & A. Okun Daniel**, Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo, 1a. Ed., México, Limusa, S.A., 1990.

**THUESEN H. G.**, Economía del Proyecto en Ingeniería, 1a. Ed. España, Prentice-Hall, 1980.

**VERGARA Morán Gerardo M.**, Estudio de la Normatividad en el área de Contaminación Ambiental, Tesis Fac. de Química, UNAM, México. 1990.

**Water Pollution Control Federation**, Operation of Wastewater Treatment Plants, MOP 11, USA, Landcaster Press., 1976.

**Water Pollution Control Federation**, Wastewater Treatment Plants Design, MOP 8, USA, Landcaster Press., 1977.

**WILLIAMS King Horace**, Manual de Hidráulica, 1a. Ed., México. UTHEA, 1981.

**WINKLER M.** Tratamiento Biológico de Aguas de desecho, 1a. Ed., México, Limusa, S.A., 1986.

**WOLFGANG Pürschel**, El Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas, 1a. Ed., España. Urmo, S.A., 1976.