



29.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ASPECTOS DE INGENIERIA CIVIL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA
VELIA ADRIANA LEYVA CAMPOS

DIRECTOR DE TESIS : ADALBERTO NOYOLA ROBLES



MEXICO, D. F.

AGOSTO DE 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

264767



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEA/C/UTIT/073/98

Señorita
VELIA ADRIANA LEYVA CAMPOS
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. ADALBERTO NOYOLA ROBLES, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

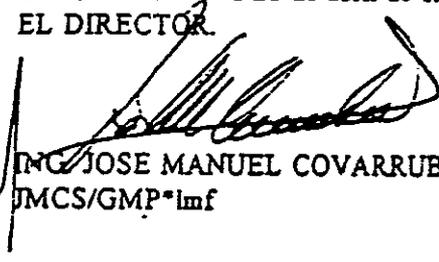
"ASPECTOS DE INGENIERIA CIVIL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL"

- INTRODUCCION
- I. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
- II. ESTRATEGIAS A SEGUIR EN PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
- III. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA INGENIERIA CIVIL
- IV. CARACTERISTICAS Y CUIDADO DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION
- V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- VI. OPERACION Y MANTENIMIENTO
- VII. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA RICOLINO EN SANLUIS POTOSI
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 21 de abril de 1998.
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf

DEDICATORIA

*Todos necesitamos alguien que desee vernos triunfar,
alguien que nos estimule a realizar grandes esfuerzos,
alguien que nos proporcione una razón ajena
a nosotros mismos para lograr el éxito.
Puede ser una madre o un padre que nos amen,
puede ser un amigo que nos inspire,
un jefe que espere más de nosotros
y nos obligue a superarnos.*

Arthur Gordon

A mi madre, hermana, familiares y amigos,
razones suficientes para vivir y
seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra Máxima Casa de Estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por su extraordinaria labor educativa y por abrirme las puertas del conocimiento universal en aras del progreso.

A la Facultad de Ingeniería, por haberme otorgado las enseñanzas tan valiosas adquiridas en las aulas.

Al Instituto de Ingeniería, ya que me dio la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y me enseñó el significado de colaborar en equipos multidisciplinarios de trabajo, aprovechando los conocimientos que nos brindan las diversas áreas del saber para la integración de proyectos que satisfagan una necesidad social.

A los ingenieros José Manuel Covarrubias Solís, Director de la Facultad de Ingeniería, y Carlos Castillo Tejero, Director del Programa de Alto Rendimiento (P.A.R.A.), sinceramente y de manera muy especial, por todo su apoyo y en reconocimiento a la gran labor que desempeñan dentro de la Facultad.

Al Doctor Adalberto Noyola Robles, por su ayuda y paciencia en la elaboración de este trabajo y por permitirme desarrollar profesionalmente en el Instituto de Ingeniería, compartiendo sus valioso conocimientos y experiencias.

A ese ser todo poderoso, por darme todo lo que tengo: mi familia, mis amigos y las personas que conozco a diario.

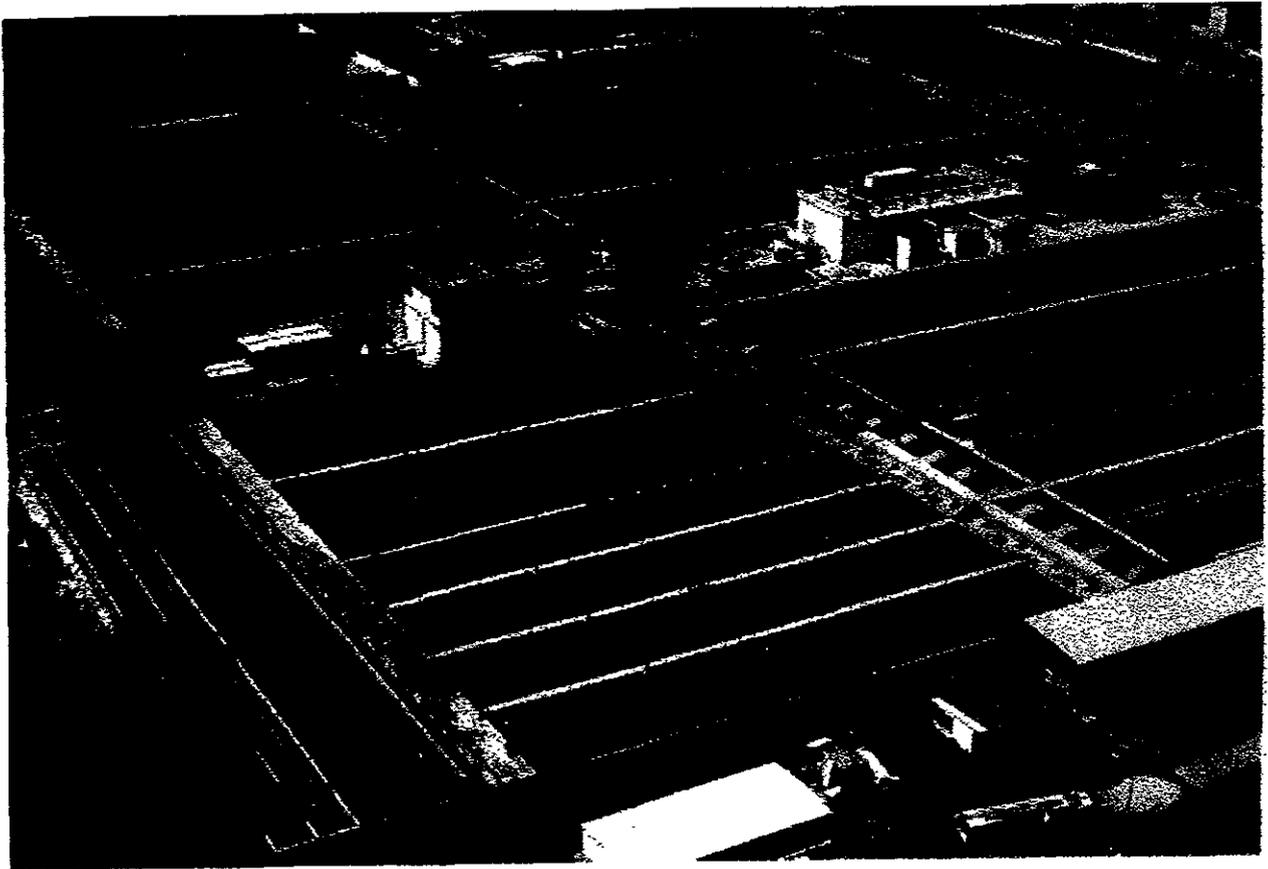
De manera especial a mi madre, Ma. de la Luz, y a mi hermana, Alejandra, ya que siempre han estado conmigo, apoyándome en todo lo que emprendo, pues con su amor y comprensión he concluido las metas que me he propuesto. Gracias por enseñarme con su ejemplo que la base de todo triunfo se encuentra en la dedicación y entusiasmo que se le dedique.

A mis profesores, por sus enseñanzas y conocimientos transmitidos.

A todos mis familiares y amigos, ya que sin su compañía la vida no tendría sentido.

A mis compañeros de trabajo, por compartir sus valiosas experiencias, las cuales han trascendido fuertemente en mi formación profesional, y sobre todo por hacer placentera mi estancia en la Facultad de Ingeniería, en el Instituto de Ingeniería y en ICA Ingeniería.

ASPECTOS DE INGENIERÍA CIVIL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.

ÍNDICE DE FIGURAS.

RESUMEN.

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO I. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.		Pág.
1.1	DISTRIBUCIÓN Y USO DEL AGUA EN MÉXICO.	1 - 2
1.2	GENERALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES.	1 - 4
1.2.1	Componentes de las aguas residuales.	1 - 4
1.2.2	Estado de las aguas residuales.	1 - 5
1.2.3	Características de las aguas residuales.	1 - 6
1.2.4	Muestreo de las aguas residuales.	1 - 10
1.2.5	Caracterización de las aguas residuales.	1 - 11
1.3	TIPOS DE TRATAMIENTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.	1 - 11
1.3.1	Tratamiento preliminar.	1 - 13
1.3.2	Tratamiento primario.	1 - 15
1.3.3	Tratamiento secundario.	1 - 18
1.3.4	Desinfección.	1 - 22
1.3.5	Tratamiento de lodos.	1 - 23
1.3.6	Tratamiento terciario o avanzado.	1 - 25
1.3.7	Tratamiento del agua residual industrial.	1 - 25
1.4	LEGISLACIÓN NACIONAL EN MATERIA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.	1 - 26
1.5	SITUACIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.	1 - 27
1.5.1	Tecnología aplicada al tratamiento de aguas residuales.	1 - 30
1.5.2	Aspectos económicos y financieros.	1 - 31
1.5.3	Aspectos institucionales.	1 - 31
1.5.4	Aspectos Socio - Culturales.	1 - 32
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO I.	1 - 32

CAPÍTULO II . ESTRATEGIAS A SEGUIR EN PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.		Pág.
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO BÁSICO.	2 - 2
2.1.1	Variables a considerar en la selección de los procesos de tratamiento.	2 - 2
2.1.2	Conceptos para la evaluación económica de plantas de tratamiento.	2 - 3

3.4.7	Orificios.	3 - 24
3.4.8	Bombeo.	3 - 25
3.4.9	Perfil hidráulico de una planta de tratamiento de agua residual.	3 - 26
3.5	INSTALACIONES ELÉCTRICAS.	3 - 26
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO III	3 - 27

CAPÍTULO IV . CARACTERÍSTICAS Y CUIDADO DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN .

4.1	COMPONENTES DEL CONCRETO.	4 - 1
4.1.1	Tipos de cementos.	4 - 1
4.1.2	Puzolanas.	4 - 4
4.1.3	Aditivos.	4 - 4
4.1.4	Agua.	4 - 4
4.1.5	Agregados.	4 - 5
4.2	ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES.	4 - 5
4.3	PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO.	4 - 6
4.4	EVALUACIÓN Y ACEPTACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO.	4 - 8
4.5	PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA SUBSTANCIAS QUÍMICAS.	4 - 9
4.5.1	Ataque por sulfatos.	4 - 10
4.5.2	Ataque por ácidos.	4 - 11
4.5.3	Recubrimientos para aumentar la durabilidad del concreto	4 - 11
4.6	PROTECCIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS Y EQUIPOS.	4 - 15
4.6.1	Protección del acero de refuerzo y de materiales ahogados.	4 - 16
4.6.2	Protección de elementos metálicos expuestos y equipos.	4 - 16
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO IV	4 - 17

CAPÍTULO V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .

5.1	EXCAVACIONES.	5 - 2
5.2	CIMBRADO.	5 - 3
5.2.1	Materiales para construcción de cimbras.	5 - 3
5.2.2	Tolerancia para superficies cimbradas.	5 - 4
5.2.3	Descimbrado.	5 - 5
5.2.4	Inspección de la cimbra.	5 - 6
5.2.5	Causas más comunes de falla.	5 - 7
5.2.6	Prácticas para lograr economía en la cimbra.	5 - 7
5.3	DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y ACEPTACIÓN DEL CONCRETO.	5 - 8
5.3.1	Dosificación.	5 - 8
5.3.2	Mezclado.	5 - 8
5.3.3	Evaluación y aceptación de mezclas de concreto fresco.	5 - 9
5.4	TRANSPORTACIÓN Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.	5 - 10
5.4.1	Preparativos previos a la colocación del concreto.	5 - 10
5.4.2	Cuidados en la colocación del concreto.	5 - 12
5.4.3	Limitaciones de colocación del concreto por temperatura.	5 - 12

5.5	CONSOLIDACIÓN DEL CONCRETO.	5 - 13
5.5.1	Métodos de consolidación.	5 - 13
5.5.2	Falta y exceso de vibrado.	5 - 15
5.6	JUNTAS.	5 - 15
5.6.1	Juntas de contracción o de control.	5 - 15
5.6.2	Juntas de aislamiento o de expansión.	5 - 17
5.6.3	Juntas de construcción.	5 - 18
5.7	ACABADO DE SUPERFICIES.	5 - 19
5.7.1	Acabado de superficies en contacto con la cimbra.	5 - 19
5.7.2	Reparación de defectos menores de la superficie del concreto.	5 - 20
5.8	CURADO .	5 - 20
5.8.1	Métodos y materiales de curado.	5 - 21
5.9	PRUEBA DE FUGAS .	5 - 22
5.10	TRATAMIENTO DE SUELOS .	5 - 22
5.11	INTERCONEXIONES Y TUBERÍAS .	5 - 23
5.12	CONTROL DE CALIDAD .	5 - 23
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO V	5 - 23

CAPÍTULO VI. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA OBRA CIVIL.

		Pág.
6.1	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS.	6 - 1
6.2	REPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.	6 - 3
6.2.1	Medidas preliminares para efectuar reparaciones.	6 - 3
6.2.2	Tipos de reparaciones.	6 - 4
6.2.3	Tratamiento de fugas.	6 - 6
6.3	PROGRAMA DE RESPUESTA ANTE SITUACIONES DE EMERGENCIA.	6 - 6
6.3.1	Fallas del proceso y/o del equipo.	6 - 7
6.3.2	Desastres naturales y accidentes.	6 - 7
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO VI	6 - 8

CAPÍTULO VII. CASO ESTUDIO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA RICOLINO EN SAN LUIS POTOSÍ.

		Pág.
7.1	BASES DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	7 - 2
7.1.1	Condiciones del influente, requisitos del efluente y gastos de diseño.	7 - 2
7.1.2	Tipo de proceso de tratamiento seleccionado.	7 - 3
7.1.3	Descripción general de la planta.	7 - 4
7.1.4	Perfil hidráulico líquido y sólido.	7 - 7
7.1.5	Manejo del efluente tratado y subproductos.	7 - 7
7.1.6	Servicios auxiliares.	7 - 7
7.2	CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	7 - 9
7.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.	7 - 10
7.3.1	Tratamiento preliminar.	7 - 11
7.3.2	Tratamiento anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB).	7 - 13
7.3.3	Tratamiento con lodos activados y clarificador secundario.	7 - 14
7.3.4	Desinfección y filtración.	7 - 15

7.3.5	Tratamiento de subproductos.	7-15
7.3.6	Dosificación de reactivos.	7-16
7.4	ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES Y SECUENCIA DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS.	7-16
7.4.1	Trabajos preliminares.	7-16
7.4.2	Excavaciones.	7-17
7.4.3	Cimbrado.	7-17
7.4.4	Habilitado y armado del acero de refuerzo.	7-17
7.4.5	Colado del concreto.	7-18
7.5	COMENTARIOS GENERALES DEL PROYECTO.	7-19
	BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO VII	7-19

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES.

ANEXOS:

- ANEXO A** Procedimientos para la obtención de las principales características de las aguas residuales.
- ANEXO B** Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.
- ANEXO C** Información de los productos químicos más utilizados en las plantas de tratamiento.
- ANEXO D** Proporcionamiento de mezclas de concreto.
- ANEXO E** Procedimientos para supervisar la construcción.
- ANEXO F** Fotografías. Procedimiento constructivo.

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Pág.

1.1	Extracción, consumo y descarga de agua anual a nivel nacional.	1 - 3
1.2	Principales características físicas de las aguas residuales.	1 - 6
1.3	Principales características químicas de las aguas residuales: Medición del Contenido Orgánico.	1 - 8
1.4	Principales características químicas de las aguas residuales: Materia Inorgánica.	1 - 8
1.5	Principales características químicas de las aguas residuales: Gases Presentes.	1 - 8
1.6	Principales características químicas de las aguas residuales: Materia Orgánica.	1 - 9
1.7	Principales características microbiológicas de las aguas residuales.	1 - 9
1.8	Características de los tipos de muestras de aguas residuales.	1 - 10
1.9	Composición típica del agua residual doméstica antes del tratamiento.	1 - 11
1.10	Tipos de tanques de sedimentación primaria.	1 - 17
1.11	Descripción de las principales modificaciones del proceso de lodos activados.	1 - 19
1.12	Características de los lodos que se producen durante el tratamiento del agua.	1 - 23
1.13	Procesos de tratamiento y manejo de lodos.	1 - 24
1.14	Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales construidas, por proceso.	1 - 30

CAPÍTULO II. DESARROLLO DE PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Pág.

2.1	Parámetros de mayor importancia en la selección de los procesos de tratamiento.	2 - 3
2.2	Factores de Lang para la estimación de costos de plantas de tratamiento de aguas residuales.	2 - 4
2.3	Programa de fechas clave.	2 - 17
2.4	Programa de actividades por disciplina.	2 - 17
2.5	Programa maestro de actividades.	2 - 18
2.6	Estimación Horas - Hombre por disciplina.	2 - 19

CAPÍTULO III. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA INGENIERÍA CIVIL

Pág.

3.1	Cargas muertas de materiales convencionales de construcción.	3 - 5
3.2	Cargas vivas de estructuras convencionales.	3 - 6
3.3	Cargas vivas de substancias comunes en plantas de tratamiento de agua residual.	3 - 6
3.4	Capacidad de carga promedio para diferentes tipos de suelos.	3 - 9
3.5	Recubrimiento mínimo de concreto para el acero de refuerzo.	3 - 15
3.6	Frecuencia natural.	3 - 17
3.7	Deflexiones máximas recomendadas para determinadas velocidades de operación de equipos.	3 - 18
3.8	Correlación de valores de C para agua limpia y para lodos.	3 - 23
3.9	Tipos de bombas que se utilizan en plantas de tratamiento y sus aplicaciones.	3 - 25
3.10	Curvas características de las bombas.	3 - 25

CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS Y CUIDADO DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN. **Pág.**

4.1	Tipos de cementos para concreto expuesto al ataque de sulfatos.	4 - 3
4.2	Requerimiento mínimo de cemento en función del tamaño máximo del agregado grueso.	4 - 7
4.3	Porcentajes de aire incluido en función del tamaño máximo del agregado grueso.	4 - 8
4.4	Revenimiento recomendado en función del tipo de elemento estructural.	4 - 8
4.5	Efecto en el concreto de sustancias químicas empleadas en las plantas de tratamiento.	4 - 10
4.6	Tipo de protección del concreto ante productos químicos.	4 - 12
4.7	Materiales de recubrimiento para concreto en diferentes condiciones ambientales.	4 - 13

CAPÍTULO V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO. **Pág.**

5.1	Etapas para la construcción de una planta de tratamiento.	5 - 1
5.2	Elementos que componen la cimbra.	5 - 3
5.3	Tolerancias para superficies cimbradas.	5 - 4
5.4	Tiempos mínimos requeridos para realizar el descimbrado.	5 - 5
5.5	Tolerancias para la prueba de revenimiento del concreto fresco.	5 - 9
5.6	Métodos y equipos empleados para transportar el concreto.	5 - 11
5.7	Situaciones y daños que pueden presentarse durante el colado del concreto.	5 - 12
5.8	Separación máxima de las juntas de contracción.	5 - 17
5.9	Tipos de acabados de superficies y sus usos.	5 - 19
5.10	Causas y reparaciones a daños provocados por un proceso constructivo incorrecto.	5 - 20
5.11	Materiales y métodos de curado empleados.	5 - 21

CAPÍTULO VI. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. **Pág.**

6.1	Daños que se presentan en las estructuras de concreto y sus técnicas de reparación.	6 - 2
6.2	Programa de respuesta a emergencias durante desastres y accidentes.	6 - 8

CAPÍTULO VII. CASO ESTUDIO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.. **Pág.**

7.1	Caracterización del agua residual cruda.	7 - 2
7.2	Parámetros del efluente de la planta de tratamiento de agua residual.	7 - 2
7.3	Condiciones límites de operación del sistema de tratamiento (efluente tratado y subproductos).	7 - 3
7.4	Diagrama de actividades del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales RICOLINO.	7 - 6
7.5	Unidades de pretratamiento, tratamiento secundario, filtración, tanques de reactivos y equipo electromecánico de la planta de tratamiento.	7 - 11
7.6	Dosificación de reactivos.	7 - 16

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Pág.

1.1	Ciclo hidrológico.	1 - 1
1.2	Distribución de la precipitación media anual en el territorio nacional.	1 - 2
1.3	Distribución de la población en el territorio nacional.	1 - 3
1.4	Aportación de agua residual de los diversos sectores nacionales.	1 - 3
1.5	Origen de las aguas residuales.	1 - 4
1.6	Composición de las aguas residuales.	1 - 5
1.7	Ejemplo de clasificación de sólidos presentes en aguas residuales de concentración media.	1 - 7
1.8	Interrelación entre los sólidos presentes en el agua residual.	1 - 7
1.9	Ejemplo de un diagrama de bloque de tratamiento de agua residual (Lodos activados).	1 - 12
1.10	Reja de barras.	1 - 13
1.11	Cribas finas.	1 - 13
1.12	Triturador.	1 - 13
1.13	Desarenador.	1 - 14
1.14	Sección transversal de un tanque de homogeneización.	1 - 14
1.15	Caja de distribución de gasto.	1 - 14
1.16	Esquema de una fosa séptica.	1 - 15
1.17	Esquema de un Tanque Imhoff.	1 - 15
1.18	Tanque de sedimentación primaria circular.	1 - 17
1.19	Tanque con fondo de tolva de flujo vertical.	1 - 17
1.20	Tanque de sedimentación primaria horizontal.	1 - 17
1.21	Arreglo esquemático de una unidad de flotación por aire disuelto.	1 - 16
1.22	Clasificación de los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales.	1 - 18
1.23	Diagrama de bloques típico para el proceso de lodos activados.	1 - 19
1.24	Aireador mecánico de baja velocidad.	1 - 19
1.25	Sedimentador secundario rectangular.	1 - 19
1.26	Esquemas de algunas variantes del proceso de lodos activados.	1 - 20
1.27	Diagrama de flujo típico para el proceso de filtros percoladores.	1 - 20
1.28	Esquema de un filtro percolador típico.	1 - 21
1.29	Diagrama de bloques típico para el proceso de lagunas aireadas.	1 - 21
1.30	Esquema del proceso de biodisco o contador biológico.	1 - 21
1.31	Esquema de una laguna facultativa.	1 - 22
1.32	Diagrama de bloques general para el tratamiento y evacuación de lodos.	1 - 23
1.33	Legislación Nacional en materia de tratamiento de agua residual.	1 - 28
1.34	Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipal (1996).	1 - 29

CAPÍTULO II. DESARROLLO DE PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Pág.

2.1	Diagrama de flujo de las etapas de un proyecto de tratamiento de aguas residuales.	2 - 1
2.2	Arreglo general de una planta de tratamiento.	2 - 8
2.3	Secuencia de inicio de actividades de un Proyecto Ejecutivo.	2 - 13
2.4	Secuencia típica de actividades para subcontratar un proyecto.	2 - 15
2.5	Secuencia típica de actividades para desarrollar un proyecto con recursos propios.	2 - 16

CAPÍTULO III. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA INGENIERÍA CIVIL		Pág.
3.1	Cimentaciones compensadas.	3 - 11
3.2	Relación de acero de refuerzo por contracción y temperatura.	3 - 15
3.3	Línea de energía de flujo.	3 - 20
3.4	Diagramas de energía del flujo.	3 - 20
3.5	Flujo a través de un volumen de control en un tubo de corriente.	3 - 20
3.6	Esquema de una vena líquida para obtener la cantidad de movimiento.	3 - 21
3.7	Esquema de fuerzas en un salto hidráulico.	3 - 21
3.8	Vertedores más usados en las plantas de tratamiento de agua residual.	3 - 24
3.9	Ecuaciones empleadas para obtener el gasto que fluye en orificios.	3 - 24
3.10	Curvas características de una bomba.	3 - 26
3.11	Perfil hidráulico de una planta de tratamiento.	3 - 26
 CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS Y CUIDADO DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.		Pág.
4.1	Comportamiento de concretos usando cementos con distintos contenidos de aluminato tricálcico (C_3A) en suelo o agua con sulfatos.	4 - 3
4.2	Elementos de un sistema de recubrimiento para concreto.	4 - 14
 CAPÍTULO V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.		Pág.
5.1	Juntas de contracción.	5 - 16
5.2	Juntas de contracción en losas.	5 - 16
5.3	Juntas de aislamiento o de expansión.	5 - 17
5.4	Juntas de expansión con y sin almacenamiento de líquido.	5 - 18
5.5	Juntas de construcción.	5 - 18
 CAPÍTULO VII. CASO ESTUDIO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.		Pág.
7.1	Localización de la planta de tratamiento.	7 - 1
7.2	Diagrama de bloque del proceso de tratamiento.	7 - 4
7.3	Arreglo general de la planta de tratamiento.	7 - 5
7.4	Perfil hidráulico de líquidos y de sólidos de la planta de tratamiento.	7 - 8
7.5	Diagrama de flujo del proceso de tratamiento.	7 - 12
7.6	Diagrama de bloque del tratamiento preliminar.	7 - 13
7.7	Diagrama de bloque del tratamiento secundario y disposición de subproductos.	7 - 14
7.8	Diagrama de bloque de la desinfección y la filtración.	7 - 15

R E S U M E N

Se ha observado que la mayor parte de los cursos de ingeniería sanitaria y ambiental, enfatizan el conocimiento de los procesos y operaciones de tratamiento de aguas residuales, sus variables y su control; además de que existe una amplia bibliografía de este tema. Sin embargo, debido a que el desarrollo de este tipo de proyecto tiene un carácter multidisciplinario, que involucra actividades típicas de diferentes especialidades (proyecto de proceso, bioquímico, hidráulico, arquitectónico, estructural, electromecánico, tuberías, etc.), se vio la necesidad de presentar una guía que proporcione los conocimientos básicos de ingeniería civil para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de estas estructuras, de manera que se contribuya a que estos proyectos cumplan los objetivos para los que fueron concebidos a lo largo de su período útil.

El presente trabajo se realiza con base en la inspección física de una planta de tratamiento de agua residual industrial, a partir de la cual se identificaron los principales factores de tipo técnico y de ingeniería civil que afectan el funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual instalado; así como las causas que los originaron, de manera que se pueda establecer una serie de recomendaciones que podrán emplearse en futuras instalaciones

INTRODUCCIÓN

En México, el aprovechamiento de los recursos naturales, condicionado fuertemente por factores políticos y socioeconómicos, ha generado una serie de problemas ambientales, siendo uno de los principales la disminución acelerada de la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y la creciente contaminación de los acuíferos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento.

Para comprender el origen de esta situación, es importante mencionar que nuestro país se caracteriza por que la actividad económica y la población están ubicadas de manera inversa a la distribución natural del agua y, en consecuencia, a la disponibilidad de este recurso, provocando que el suministro de agua potable sea complicado, por lo que se ha originado un rezago de la oferta en comparación con la demanda.

En las últimas décadas, la crisis de agua se ha agudizado debido al desmedido crecimiento de la población, convirtiéndose en el principal obstáculo de la planeación y ordenamiento urbano, y a la diversificación de las actividades productivas, que en su conjunto demandan grandes volúmenes de este recurso, lo cual trae como consecuencia una mayor generación de aguas residuales, que al ser descargada sin tratamiento en los cuerpos receptores perjudican sus usos legítimos y disminuyen su potencial de aprovechamiento.

Como consecuencia, el tratamiento de aguas residuales ha recibido un fuerte impulso en los últimos años y es considerado como una de las principales estrategias adoptadas para preservar la calidad del agua, garantizar el desarrollo sustentable, mejorar la calidad de vida y proteger la salud pública, por lo que de 957 plantas de tratamiento que existían en 1995, se incrementó el número a 2048 en 1996. Sin embargo, a pesar de las inversiones realizadas, el deterioro de la calidad del agua en las fuentes naturales, receptoras directas o indirectas de las aguas residuales, se ha incrementado debido al aumento del caudal residual generado y a los problemas que se han presentado en la operación de la infraestructura de tratamiento, ya que se estima que cerca del 90% tiene problemas en su funcionamiento y un 25% está fuera de servicio por: incapacidad económica para operarlas o rehabilitarlas, por baja eficiencia en el tratamiento o por deficiencia en su obra física.

Bajo las actuales condiciones económicas, no debería existir tal volumen de inversión improductiva, por lo que, con este trabajo, se pretende proporcionar una guía que facilite la labor de planificadores, diseñadores, constructores y en general, del personal técnico que interviene en el proyecto, construcción y operación de plantas de tratamiento de agua residual.

Considerando que antes de realizar cualquier trabajo es necesario analizar la situación, la elaboración del primer capítulo se inició con una búsqueda bibliográfica para poder establecer las condiciones en que se encuentra el tratamiento de agua residual en México, describiendo el uso y

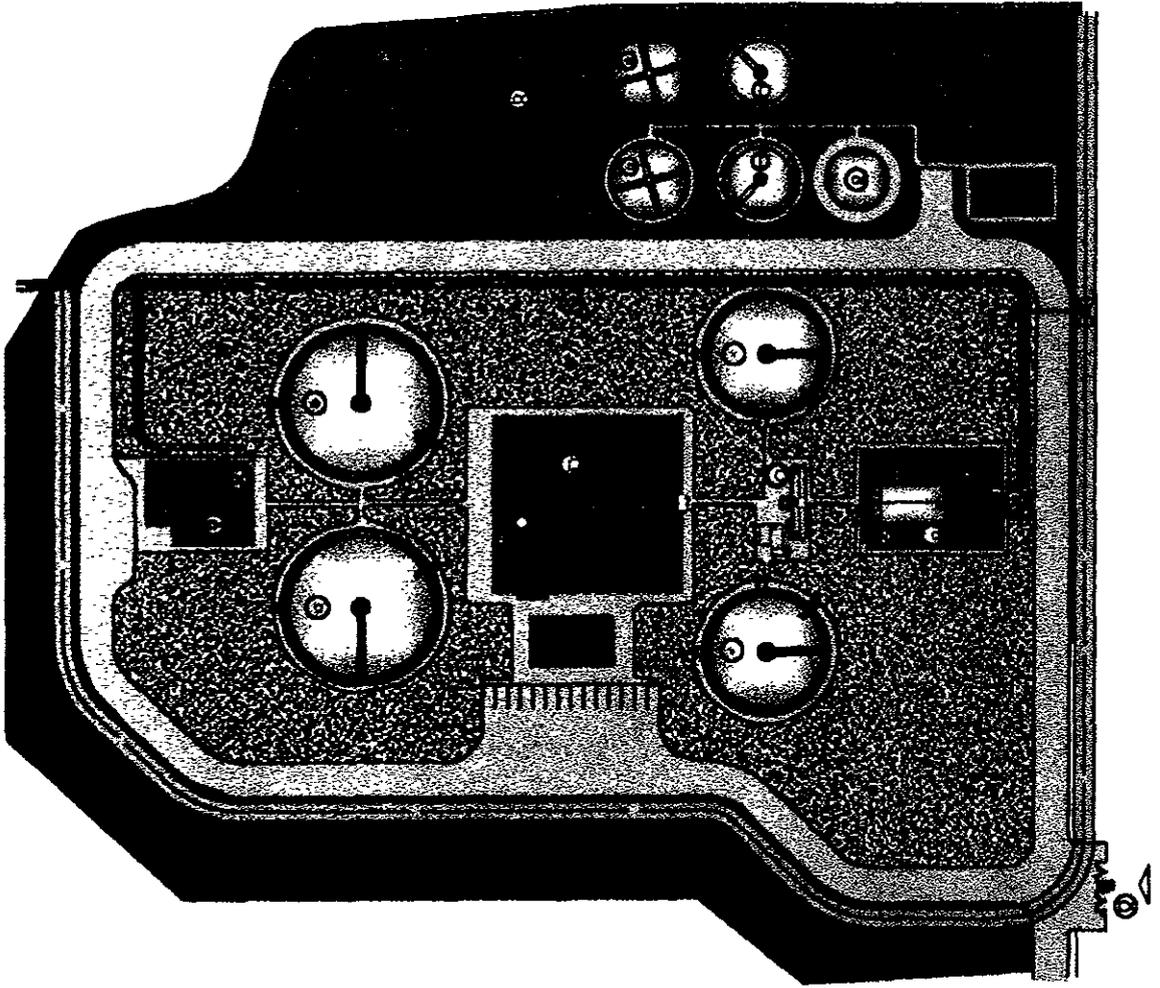
distribución del agua, los principales procesos que se emplean para depurar el agua residual; así como la legislación que regula sus descargas.

En el segundo capítulo se explican las etapas que debe seguirse para desarrollar e integrar el proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento de agua residual, indicando su secuencia, y las actividades y trabajos que hay que realizar en cada etapa.

Teniendo como fundamento los objetivos mencionados anteriormente, se inició la recopilación de información técnica de las diversas áreas de ingeniería civil que intervienen en el proyecto de una planta de tratamiento de agua residual, con lo que se integraron cuatro capítulos que contemplan los siguientes temas: consideraciones básicas para efectuar los estudios geotécnicos y desarrollar el diseño estructural e hidráulico de las unidades que componen la planta de tratamiento (tercer capítulo); características de los elementos que forman el concreto, proporcionamiento de mezclas y cuidado de los materiales que se emplean en la construcción de las estructuras (cuarto capítulo); recomendaciones en las prácticas constructivas para lograr elementos funcionales, resistentes y económicos (quinto capítulo); y la descripción de las pautas a seguir en la operación y mantenimiento de la obra civil de la planta (sexto capítulo).

El séptimo capítulo se realizó con base en la inspección física de la planta de tratamiento de agua residual de la empresa Ricolino en San Luis Potosí, y tiene como objetivo principal el identificar los factores de tipo técnico y de ingeniería civil que afectan el funcionamiento del sistema de tratamiento instalado; así como las causas que los originaron, de manera que se lleguen a establecer una serie de recomendaciones que podrían emplearse en futuras instalaciones.

CAPÍTULO 1
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.



CAPÍTULO 1

EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

La calidad de vida del hombre depende de muchos factores, entre los que se encuentran en forma primordial, tanto la cantidad como la calidad de agua suministrada, siendo probablemente el recurso natural más importante, ya que sin él no podría existir la vida y, a diferencia de otras materias primas, no tiene sustituto en muchas aplicaciones. Como consecuencia, la distribución, manejo, uso y tratamiento del agua es una situación que debe involucrar a toda la sociedad.

En un principio, el problema se había enfocado a construir sistemas de abastecimiento de agua potable, de manera que la población contara con este líquido vital, observándose una disminución en el índice de enfermedades y en la tasa de mortandad. Desafortunadamente, debido al crecimiento y a la centralización de la población y de los complejos industriales se ha incrementado la cantidad de desechos generados, los cuales tienen un alto potencial contaminante, presentándose una relación estrecha entre la existencia de efluentes con calidad de agua residual y el aumento en el número de personas enfermas, por lo que es necesario normar la forma de tratar y disponer del agua una vez que ha sido utilizada.

La contaminación del agua siempre ha existido; sin embargo, la acción de la naturaleza era suficiente para degradarla y autodepurar los escurrimientos superficiales y subterráneos, de acuerdo con el ciclo hidrológico, transformándolos en formas más estables que podían servir nuevamente para el consumo de plantas, animales y del hombre. Ver Figura 1.1.

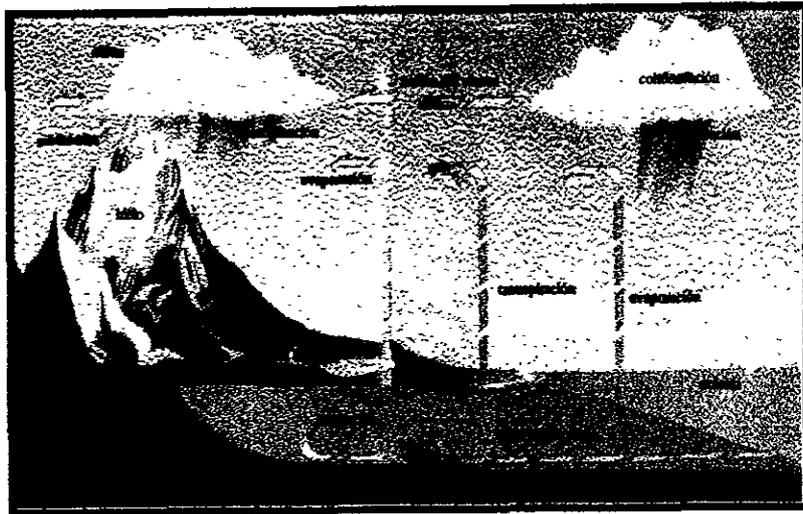


Figura 1.1 Ciclo hidrológico.

Actualmente, esta transformación debe acelerarse artificialmente, ya que se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración de la naturaleza, además de que la cantidad de agua requerida para todo tipo de uso es cada vez mayor. A pesar de que en México se cuenta con plantas de tratamiento, la cantidad de agua residual tratada está lejos de ser toda la generada, por lo que es necesario desarrollar tecnologías que realicen esta depuración de forma eficiente y a bajo costo.

1.1 DISTRIBUCIÓN Y USO DEL AGUA EN MÉXICO.

México es un país en el que la actividad económica y la población están ubicadas de manera inversa a la distribución natural del agua y, en consecuencia, a la disponibilidad de este recurso. El territorio mexicano está dividido en 320 cuencas, con un escurrimiento medio anual de 430,000 millones de m^3 . No obstante, la zona norte sólo tiene un escurrimiento de 12,900 millones de m^3 , 3 % del global en un área equivalente al 30 % del país; y en el sudeste hay 215,000 millones de m^3 , es decir, el 50 % de la disponibilidad para un 20 % del territorio. En conclusión, más de la mitad del territorio (53 %) está bajo déficit hídrico, lo que ha ocasionado una sobreexplotación de los cuerpos de agua subterránea, que trae como resultado su salinización (Sedesol, 1994). En las Figuras 1.2 y 1.3 se presenta la distribución de la precipitación media anual y la distribución de la población en el territorio nacional respectivamente.

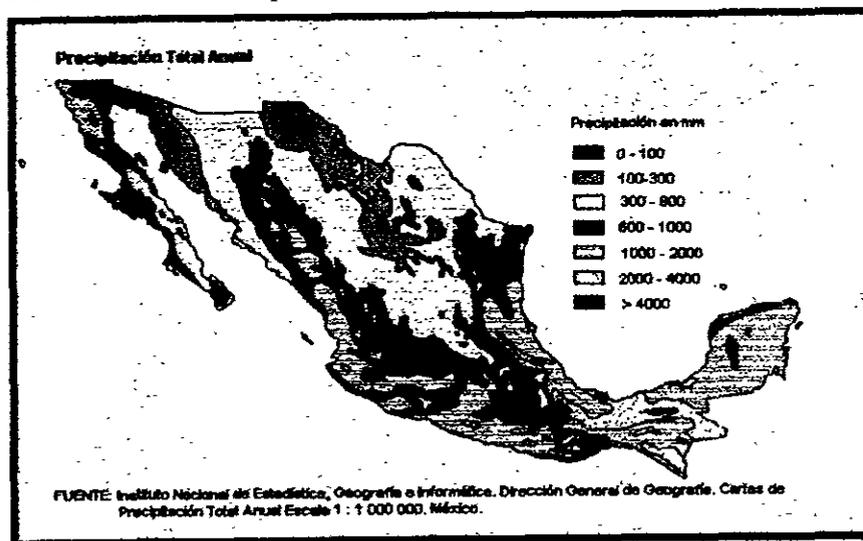


Figura 1.2 Distribución de la precipitación media anual en el territorio nacional.

Aunada a esta situación, la heterogénea distribución de la población, lo extenso del territorio y la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua potable han provocado que en nuestro país el suministro de este líquido sea una tarea complicada y costosa, por lo que se ha originado un rezago de la oferta en comparación con la demanda. Bajo estas circunstancias es que el tratamiento de aguas residuales cobra importancia, ya que representa una solución para conservar y recuperar este recurso natural.

A nivel nacional se extraen anualmente $185 \times 10^9 m^3$ de aguas superficiales y subterráneas para los diversos usos, lo cual representa 43 % del volumen total anual de agua de escurrimiento. De este volumen, 61 % se utiliza en la generación de energía eléctrica, 30 % en riego, 5 % para la industria y el restante 4 % para uso urbano, que incluye el suministro de agua potable (Ver Tabla 1.1).



Figura 1.3 Distribución de la población en el territorio nacional.

Tabla 1.1 Extracción, consumo y descarga de agua anual a nivel nacional.

USO	Extracción		Consumo		Descarga	
	Volumen anual [10 ⁹ m ³]	Porcentaje [%]	Volumen anual [10 ⁹ m ³]	Porcentaje [%]	Volumen anual [10 ⁹ m ³]	Porcentaje [%]
Agrícola	55.5	30	46.6	88	8.8	46
Industrial	9.3	5	3.7	7	5.4	28
Urbano	7.4	4	2.7	5	5.0	26
Hidroeléctrico	112.8	61	-	-	-	-
TOTAL	185.0	100	53.0	100	19.2	100

Fuente: Sedesol, 1994.

Para 1994 se reportaba que los centros conurbados producían 158 m³/s de aguas residuales. Por su parte, el sector industrial aportaba 171 m³/s de aguas residuales de distintas características, pero altamente contaminantes. Por último, el sector agrícola producía 279 m³/s de aguas contaminadas, con lo que se tenía un total de 608 m³/s de agua residual generada en todo el país, de los cuales se contabilizaba que sólo un gasto de 43 m³/s era tratado (Sedesol, 1994). Ver Figura 1.4.

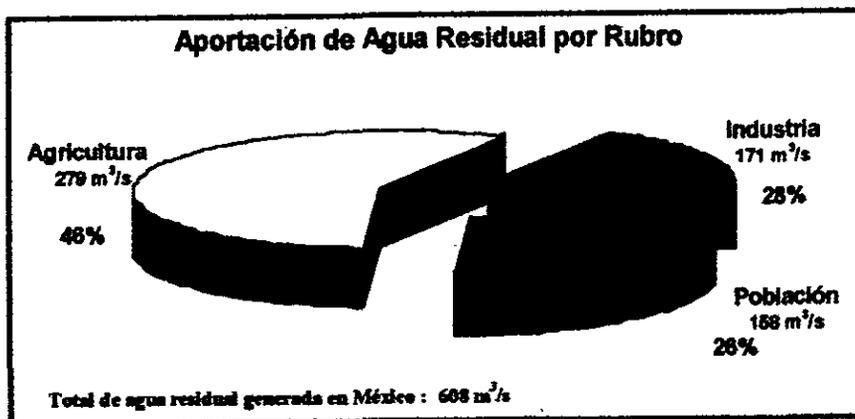


Figura 1.4 Aportación de agua residual de los diversos sectores nacionales.

Vinculada con esta situación de alta generación de aguas residuales, se encuentra la problemática de falta del servicio de agua potable y alcantarillado, con cobertura del 83 % y del 67 % a nivel nacional respectivamente (Sedesol, 1994). Este retraso dificulta la labor de saneamiento, debido a la dispersión de las descargas existentes y a la necesidad de realizar considerables inversiones en los sistemas de recolección de aguas residuales como requisito previo a la construcción de la infraestructura para el tratamiento de las mismas. Como se observa, a medida que se vaya solucionando la cobertura de los servicios, se incrementará la cantidad de agua residual que se conduce por los sistemas de recolección y alcantarillado y por ende, el agua que reciba un tratamiento antes de ser descargada a algún cuerpo receptor.

1.2 GENERALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Toda comunidad genera residuos líquidos y sólidos. La parte líquida - agua residual - procede esencialmente del agua suministrada a la población después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Por lo que desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales pueden definirse como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, 1996). Ver Figura 1.5.

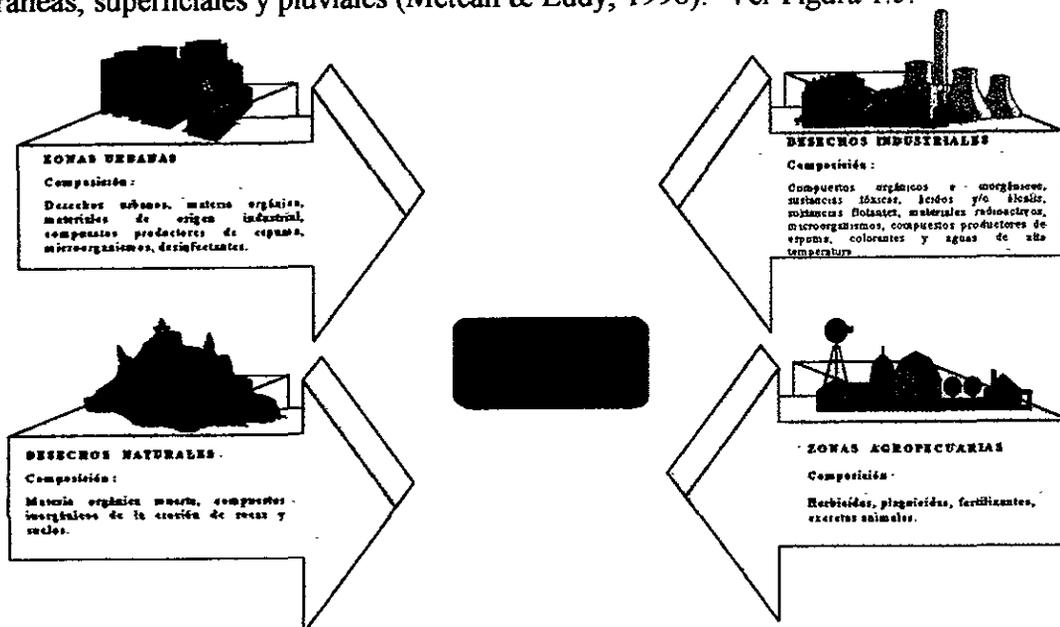


Figura 1.5 Origen de las aguas residuales.

1.2.1 COMPONENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Los componentes que conforman el agua residual que genera una comunidad dependen del tipo de sistema de recolección empleado y pueden incluir (Ver Figura 1.6):

- Agua residual doméstica o sanitaria.** Es el agua procedente de residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares. Estos desechos son muy importantes en lo que se refiere a la salud pública ya que pueden contener organismos dañinos al hombre, por lo que su tratamiento y disposición constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales.

- b) **Agua pluvial.** Agua resultante del escurrimiento superficial de las lluvias; se incluyen las que provienen de nieve y granizo. Su volumen varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas. Estos escurrimientos pueden ser colectados y dispuestos junto con los efluentes de la comunidad o ser tratados separadamente.
- c) **Infiltraciones y conexiones incontroladas.** Agua que penetra de forma no controlada en la red de alcantarillado, procedente del subsuelo o del agua pluvial que es descargada a la red por bajantes de agua de edificios, drenes de cimentaciones y alcantarillas pluviales. El volumen de agua infiltrado no puede determinarse con exactitud porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarillado, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias, etc.
- d) **Agua residual industrial.** Agua residual en la cual predominan los productos de desecho de los procesos industriales. El volumen y características de esta agua varía mucho, pues depende del tipo de establecimiento industrial.

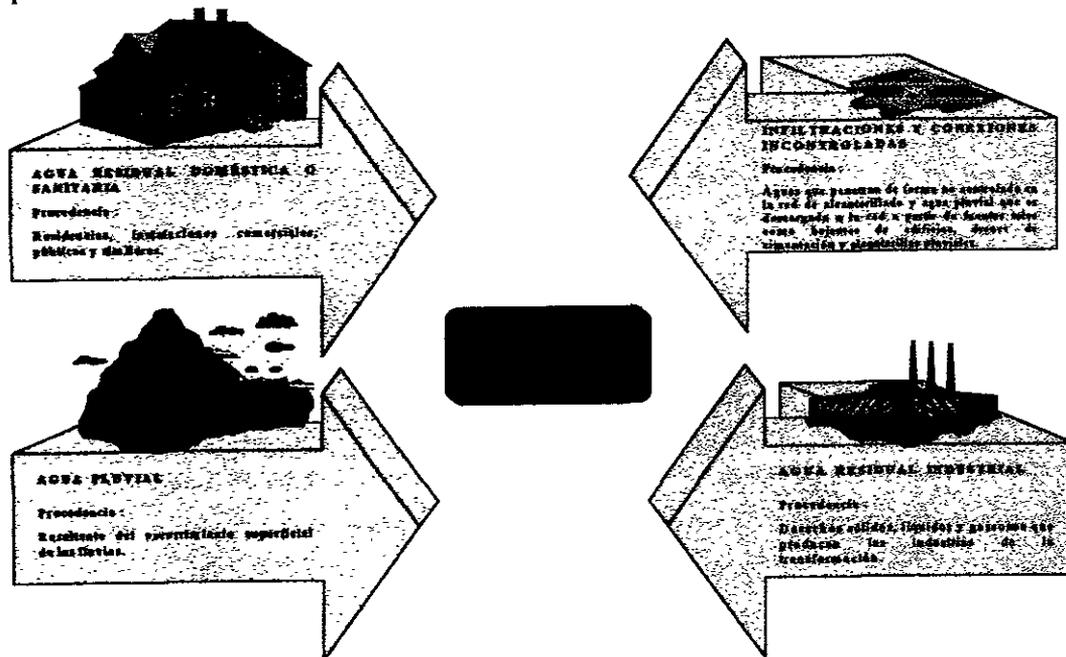


Figura 1.6 Composición de las aguas residuales.

El volumen y la naturaleza del agua residual dependen también del tipo y tiempo que tenga de instalado el sistema de drenaje, observándose que en los sistemas viejos se presentan pérdidas de agua debido a fugas o, por el contrario, infiltraciones de agua subterránea que pueden aumentar el gasto. En los países en vías de desarrollo se emplean drenajes combinados que transportan el agua residual junto con el escurrimiento pluvial, ya que un drenaje separado requiere una inversión inicial elevada. Sin embargo, este sistema ocasiona colocar alcantarillados injustificadamente grandes desde el punto de vista económico para poder captar todo el gasto; además de que presenta problemas de diseño hidráulico y un incremento en el caudal que requiere recibir tratamiento.

1.2.2 ESTADO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

El nivel y la naturaleza de la descomposición de los sólidos contenidos en las aguas residuales ha dado origen a los siguientes términos que describen la condición o estado de las aguas.

- a) **Agua residual fresca.** Se refiere al agua a la cual se le acaba de agregar la materia contaminante. Contienen oxígeno disuelto y sólidos en suspensión en cantidades variables. Son turbias, de color grisáceo y tienen un olor mohoso no desagradable.
- b) **Agua residual séptica.** Describe al agua residual en la que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que se realiza una descomposición anaerobia de los contaminantes. Se caracterizan por un color negruzco, olor fétido y desagradable, y por tener sólidos suspendidos de color negro.
- c) **Agua residual estabilizada.** Es el agua en la que los contaminantes han sido descompuestos hasta sólidos prácticamente inertes. El oxígeno disuelto está nuevamente presente, su color es ligero o nulo, y tienen pocos sólidos suspendidos.

1.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Debido a la gran diversidad de elementos y compuestos que pueden estar presentes en las aguas residuales, no es factible dar detalle de los componentes presentes en una muestra dada; sin embargo, se puede considerar que existe un conjunto de ellos que tienen importancia por la influencia que ejercen en la selección de una tecnología de tratamiento del agua; así como en el diseño y operación de la planta de tratamiento, los cuales se dividen en características: físicas, químicas y biológicas.

a) **Características físicas.** Las propiedades físicas son relativamente fáciles de medir, algunas de las cuales las puede observar cualquier persona rápidamente. En la Tabla 1.2 se muestra un resumen de las características físicas más importantes de las aguas residuales y se hace mención de su influencia en el tratamiento de éstas últimas.

Tabla 1.2 Principales características físicas de las aguas residuales.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
Sólidos Totales (ST) (mg / l)	Contenido de sólidos totales que queda como residuo en la evaporación del agua entre 103 y 105 °C. Ver Figura 1.7 y Figura 1.8.	Poca importancia si se hace una interpretación aislada. Útil al relacionarlo con otros parámetros. Sirve para detectar sales inorgánicas disueltas.
Sólidos Sedimentables (ml / l)	Sólidos removidos por sedimentación en un cono Imhoff en 60 min a temperatura ambiente.	Medida de la cantidad de lodos que se obtendrá en una sedimentación primaria.
Sólidos Suspendidos (SS) (mg / l) ▲	Sólidos retenidos en un filtro de fibra de vidrio o de membrana de policarbonato.	Están sujetos a una rápida degradación (hidrólisis) y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas residuales.
Sólidos Disueltos (SD) (mg / l) ▲	Sólidos capaces de filtrarse por poros como los mencionados en SS. Sólidos coloidales: materia particulada con un intervalo de tamaño de 0.001 a 1 µm.	La fracción coloidal no puede removerse por sedimentación, sino por reacciones biológicas o coagulación seguida de una sedimentación.
▲ Ambos sólidos se pueden subdividen en: Volátiles (SSV y SDV) (mg / l) Fijos (SSF y SDS) (mg / l)	Sólidos orgánicos que se oxidan y volatizan a 550 ± 50 °C. Sólidos inorgánicos que quedan como cenizas al calentarlos a 550 ± 50 °C.	Contenido orgánico de los sólidos (disueltos y sedimentables). Contenido inorgánico de los sólidos (disueltos o sedimentables).

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy, Vol 1 1996.

Tabla 1.2 Principales características físicas de las aguas residuales (Continuación).

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
Olor	Causado por gases desprendidos de la descomposición de materia orgánica y/o sustancias adicionadas al agua residual.	Factor importante en el diseño, ubicación y operación de una planta de tratamiento, por afectar directamente a la población cercana.
Temperatura (°C)	En general, la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura de la fuente y mayor que la temperatura del aire del ambiente (Excepción climas muy cálidos).	Parámetro fundamental por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas y bioquímicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de olores, etc. Determinante para la operación y diseño de procesos biológicos por su influencia en el crecimiento y actividad de los microorganismos.
Densidad (kg / m ³)	Se define como la masa por unidad de volumen.	Importante por la formación de corrientes por diferencias de densidades en tanques de sedimentación y en otras unidades.
Color	Agua residual fresca: varía de gris a café claro. Agua residual sépticas: de gris a gris oscuro/negro. Las aguas residuales industriales pueden tener un color especial.	Parámetro importante, ya que los consumidores rechazan el agua por razones estéticas cuando está muy coloreada y para ciertos usos industriales puede ser inaceptable.
Turbiedad (UTN)	Medida basada en la intensidad de la luz dispersada por una muestra en comparación con la luz dispersada por una suspensión de referencia. La materia coloidal dispersa se caracteriza por que absorbe la luz.	Parámetro que indica la calidad de las aguas en relación con la materia coloidal y suspendida en descarga de aguas residuales o naturales.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

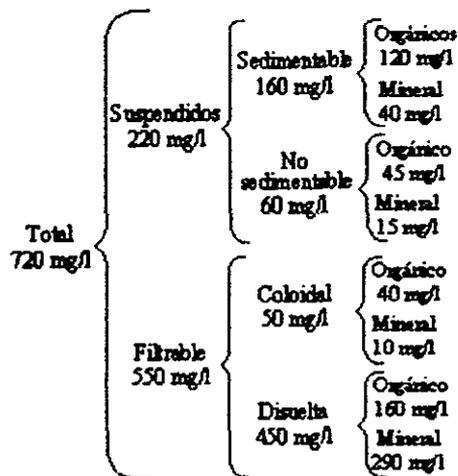


Figura 1.7 Ejemplo de clasificación de sólidos presentes en aguas residuales de concentración media.

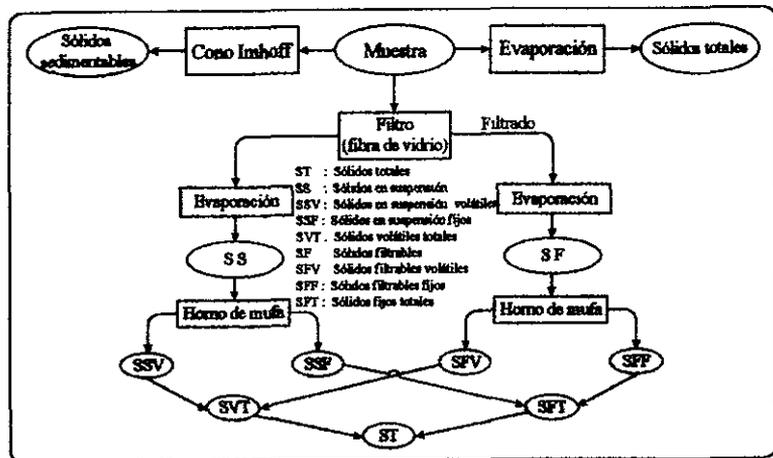


Figura 1.8 Interrelación entre los sólidos presentes en el agua residual.

b) **Características químicas.** En las Tablas 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6 se muestra un resumen de las propiedades químicas más importantes de las aguas residuales y se hace mención de su influencia en el tratamiento de éstas últimas, abordando los siguientes cuatro apartados: (1) medición del contenido orgánico, (2) materia inorgánica, (3) gases presentes, y (4) materia orgánica presente.

Tabla 1.3 Principales características químicas de las aguas residuales: Medición del Contenido Orgánico.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg / l)	Medida de la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar bioquímicamente la materia orgánica. Las muestras se incuban por 5 días a una temperatura de 20 °C para determinar el O ₂ consumido en este periodo por los microorganismos inoculados. Esto representa del 60 al 70 % de la oxidación bioquímica completa.	Parámetro útil para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica del agua residual, seleccionar el método de tratamiento, dimensionar las instalaciones de tratamiento y evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento.
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg / l)	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica. La DQO > DBO ₅ , ya que existe más materia que es oxidable químicamente que biológicamente.	Parámetro útil para medir la materia orgánica del agua residual que contenga compuestos tóxicos para la vida biológica. Se obtiene rápidamente (3 horas) por lo que sirve para controlar el funcionamiento de las plantas de tratamiento.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

Tabla 1.4 Principales características químicas de las aguas residuales: Materia Inorgánica.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
pH	$pH = -\log_{10} [H^+]$ Medición indirecta de la concentración de iones hidrógeno. (Acidez o alcalinidad de una muestra)	Es importante en los tratamientos biológicos, ya que los microorganismos se desarrollan con pH entre 6 y 8. Sirve para controlar muchas reacciones químicas del tratamiento de las aguas.
Alcalinidad (mg CaCO ₃ / l)	Medida de la capacidad para neutralizar ácidos, debida a la presencia de bicarbonato, carbonatos o hidróxido.	Es importante para el tratamiento químico y como parámetro de control de procesos biológicos de tratamiento. Ayuda a regular los cambios de pH.
Nitrógeno y Fósforo	Nutrientes básicos para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. Nitrógeno Total = orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. Fósforo = orgánico, ortofosfato y polifosfato.	Nitrógeno: parámetro para evaluar la tratabilidad biológica del agua residual. Fósforo: Esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos.
Metales Pesados	Destacan: níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg).	Algunos de ellos son necesarios para el desarrollo de los microorganismos. El exceso de estos metales es tóxico.
Dureza	Debida a los iones metálicos de calcio y magnesio.	Propiedad del agua que evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en tuberías.
Cloruros	Proveniente de sales del suelo desechos industriales y domésticos. En concentración mayor a 250 mg/l provoca sabor salado.	Indicador de presencia de orina en el agua. Los métodos convencionales de tratamiento no remueven significativamente los cloruros.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

Tabla 1.5 Principales características químicas de las aguas residuales: Gases Presentes.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
Oxígeno disuelto	Elemento importante en el control de la calidad del agua, presente en todas las aguas que están en contacto con el aire. Desafortunadamente el oxígeno es poco soluble en el agua.	Es conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto para: evitar la formación de olores desagradables en las aguas y mantener formas superiores de vida biológica.
Metano	Principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua.	En cantidades significativas puede emplearse como combustible y fuente de energía.
Sulfuro de hidrógeno	Se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre.	Produce un olor desagradable y en presencia de oxígeno se oxida y tiene efectos corrosivos.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

Tabla 1.6 Principales características químicas de las aguas residuales: Materia Orgánica.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
Proteína	Es el principal componente del organismo animal y menos relevante en organismos vegetales.	En gran cantidad puede causar olor desagradable debido a su descomposición. Responsable de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales.
Carbohidratos	Compuestos formados por carbono, oxígeno e hidrógeno. Se encuentra como azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera.	La celulosa es el carbohidrato más importante por su volumen y resistencia a la descomposición.
Grasas y Aceites (mg / l)	Formado por alcohol, glicerina y ácido graso. Por su estado a temperatura ambiente son: Grasas: Se encuentran en estado sólido. Aceites: Se encuentran en estado líquido.	Interfieren en el desarrollo de la actividad biológica y causan problemas de mantenimiento en las plantas de tratamiento.
Sustancias activas al azul de metileno (S.A.A.M) (mg / l)	Formados por moléculas orgánicas de gran tamaño y ligeramente solubles en agua provenientes de detergentes sintéticos.	Causan formación de espumas en distintos equipos de la planta de tratamiento. Se depositan en las interfaces aire - agua.
Contaminantes Prioritarios	Compuestos orgánicos e inorgánicos con características de alta toxicidad. Muchos son clasificados como COV.	Ejemplos: arsénico (As), selenio (Se), bario (Ba), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), plata (Ag), benceno, etc.
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	Compuestos orgánicos con punto de ebullición menor a los 100°C y/o una presión de vapor mayor que 1 mm de Hg a 25°C.	La liberación de este tipo de compuestos en las plantas de tratamiento puede afectar la salud de los operadores de la misma.
Plaguicidas y productos agroquímicos.	Formados por productos químicos de uso agrícola. No común en aguas residuales domésticas.	Tóxicos para la mayor parte de las formas de vida. Pueden matar a los microorganismos de una unidad de tratamiento.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

c) **Características Biológicas.** El análisis bacteriológico de las aguas residuales es uno de los parámetros de calidad más importantes. Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales se encuentran en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7 Principales características microbiológicas de las aguas residuales.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO
Organismos eucariontes multicelulares	Organismos con distinciones en células y tejidos (con núcleo real). Muchos son patógenos (Helminths: Taenia saginata, Taenia solium).	Son importantes para determinar la toxicidad de las aguas residuales y para evaluar la eficiencia de los procesos biológicos de tratamiento secundario.
Organismos eucariontes unicelulares y multicelulares	Organismos sin diferencias de tejidos (con núcleo real). Ejemplo: algas, hongos y protozoarios aerobios y anaerobios. Muchos son patógenos, por lo que es necesario eliminarlos por desinfección.	Algas: son necesarias ya que producen oxígeno mediante la fotosíntesis. Hongos: descomponen el carbono orgánico, soportan pH bajos y bajas concentraciones de nitrógeno. Protozoarios: son esenciales para la operación de los procesos de tratamiento biológico y purificación de los efluentes.
Eubacteria y archaeobacterias	Procariontes unicelulares (sin membrana nuclear). Las aguas residuales contienen cerca de un millón de bacterias/ml. Algunas bacterias son patógenas como la Salmonella y el Vibrio cholerae.	Muchas bacterias cumplen con la función de descomposición y estabilización de materia orgánica, constituyendo el fundamento de los procesos de tratamiento biológico.
Virus	Organismos parásitos constituidos por cadenas de material genético (ADN, ARN), y una cubierta proteica.	Por ser patógenos requieren de su eliminación por desinfección.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

Como referencia, en el Anexo A se presentan los métodos para determinar en el laboratorio las características de las aguas residuales cuyo análisis se suele hacer de forma más o menos rutinaria.

1.2.4 MUESTREO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Cuando se diseña un programa de muestreo es importante tener en mente que no existen procedimientos universales de muestreo, sino que cada programa debe diseñarse específicamente para cada situación, por lo que es fundamental que se especifique claramente:

1. Su objetivo.- Por ejemplo, estimar las concentraciones máximas o medias, detectar cambios o tendencias, estimar porcentajes o tener una base para cobrar por descarga de cada efluente.
2. Un nivel práctico y aceptable en las variaciones de los resultados con base en el uso deseado y tomando en cuenta los recursos disponibles para la toma de muestras y el análisis.

Una muestra aislada es útil cuando se busca conocer si se cumple con ciertos límites particulares. Sin embargo, debido a que las aguas residuales son muy variables en calidad y cantidad, para obtener un valor representativo de la naturaleza de la fuente es necesario analizar una muestra formada por muestras tomadas a intervalos durante cierto período y en proporción al caudal, para integrar así una muestra compuesta. En la Tabla 1.8 se presentan las características de los dos tipos de muestras expuestas y en el Anexo B se presenta la forma de integrar una muestra simple y una muestra compuesta, según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Tabla 1.8 Características de los tipos de muestras de aguas residuales.

TIPO DE MUESTRA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Muestra instantánea	Proporcionan concentraciones puntuales del efecto de una substancia sobre las aguas residuales. Son rápidas de tomar y analizar.	No son representativas de las características de las aguas residuales ya que sólo reflejan las condiciones en el momento de muestreo.
Muestra compuesta	Indican las características de las aguas residuales durante cierto período de tiempo. Elimina los efectos de los cambios intermitentes de gasto y concentración.	Se requiere mayor tiempo.

Fuente: Adaptado de Tebbati (1997) y del Departamento de Sanidad de N. Y. (1990).

El muestreo de agua residual de origen industrial puede ser más complicado, ya que con frecuencia son intermitentes, por lo que es importante que se entienda el tipo de proceso que produce la descarga para poder efectuar un programa de muestreo apropiado y obtener la caracterización real del agua.

Se recomienda localizar los puntos de recolección de muestras en lugares donde el agua esté bien mezclada (flujo turbulento); no existan partículas mayores de 6 mm, sedimentos o materia flotante; y se asegure la obtención de muestra durante el desarrollo del programa de muestreo.

En forma ideal, todos los análisis se deben practicar después de recolectar las muestras, ya que entre más rápido se hagan, es más probable que los resultados sean una evaluación real de la naturaleza del líquido *in situ*. En el Anexo A se presentan el tiempo de almacenamiento, preservación y el volumen de muestra requerido para realizar la caracterización del agua residual.

1.2.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las características físicas, químicas y biológicas del agua residual se determinan mediante estudios de caracterización. Como referencia, en la Tabla 1.9 se muestran los parámetros cuyo estudio se hace de forma frecuente y los resultados promedio de los análisis de aguas residuales doméstica.

Tabla 1.9 Composición típica del agua residual doméstica antes del tratamiento.

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACIÓN		
		Débil	Mediana	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1,200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, 20 °C (DBO ₅ 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1,000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	no./100 ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	µg/l	< 100	100 - 400	> 400

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy, Vol 1 1996.

^a Los valores se deben aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro.

Éstos son datos promedio, pero no constituyen valores constantes, ya que la composición de las aguas residuales es variable; sin embargo, estos parámetros se mantienen dentro de ciertos rangos.

En el Anexo B se presentan los límites máximos de contaminantes permitidos a las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales conforme a la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996.

1.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso de ésta para transportar los desechos, se hizo necesario encontrar métodos para disponer del agua portadora. Originalmente se emplearon para ello la irrigación, infiltración y dilución, pero conforme fue creciendo la población, con el proporcional aumento del volumen de agua residual, estos métodos resultaron ser poco satisfactorios, por lo que se hizo indispensable tomar otras medidas para mejorarlos, iniciándose el desarrollo de los sistemas de tratamiento antes de la disposición final de las aguas residuales.

El propósito del tratamiento del agua residual previo a su disposición consiste en estabilizar la materia orgánica biodegradable, eliminar los organismos patógenos y separar la materia en

suspensión y flotante, de forma que al ser descargada al cuerpo receptor no interfieran con el más adecuado empleo de éste. Los diversos tratamientos del agua pueden clasificarse de acuerdo a:

1. La calidad del efluente obtenido del proceso u operación, denominado nivel de tratamiento, o
2. Por las características inherentes del tratamiento, es decir, si en el proceso de tratamiento se realizan reacciones químicas o biológicas u operaciones físicas o una combinación de ellas.

Por lo anterior, los métodos de tratamiento pueden dividirse según la depuración que den al agua residual en: métodos de tratamiento primario, secundario y terciario (avanzado) siendo éste último el que ofrece mayor calidad al efluente cuando va precedido de tratamiento primario y secundario.

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como *operaciones físicas unitarias*, y en los que la eliminación de contaminantes se consigue mediante reacciones químicas o biológicas se denominan *procesos unitarios*, ya sea químicos o biológicos.

El *tratamiento primario* consiste en una serie de operaciones físicas que remueven basura, arena, grasas, aceites y una porción de sólidos suspendidos y de materia orgánica. Los procesos químicos y biológicos entran dentro del *tratamiento secundario* y remueven la mayoría de los compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos. En el *tratamiento avanzado* se combinan operaciones y procesos unitarios para realizar la desinfección del agua y remover el excedente de materia orgánica y otros elementos como nitrógeno, fósforo y compuestos tóxicos.

En las plantas de tratamiento, las operaciones y procesos unitarios se agrupan para constituir *un tren de tratamiento* con el que se logra la depuración del agua. A las representaciones gráficas de los trenes de tratamiento se les denomina *diagramas de bloques de procesos*. Ver Figura 1.9.

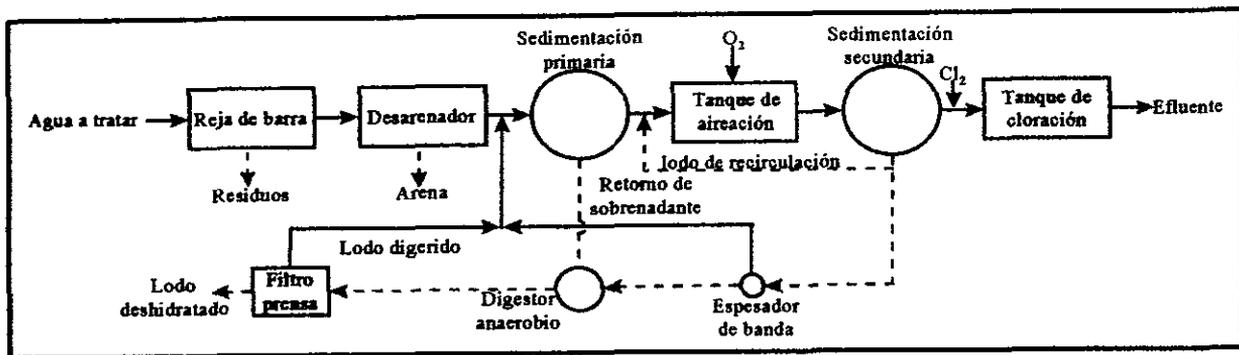


Figura 1.9 Ejemplo de un diagrama de bloque de tratamiento de agua residual (Lodos activados).

Con la gran gama de métodos existentes puede haber una amplia variedad de combinaciones que proporcionen un tren de tratamiento; sin embargo, no debe perderse de vista *el objetivo principal del tratamiento que es la obtención de un efluente que cumpla con los requerimientos de calidad establecidos y que, por lo tanto, disminuya los impactos ambientales o posibilite su reúso, y todo esto con el menor costo global posible (inversión y operación)*.

A pesar de su variedad, todos los métodos de tratamiento del agua residual pueden incluirse en:

- 1) Tratamiento preliminar.
- 2) Tratamiento primario.

- 3) Tratamiento secundario.
- 4) Desinfección.
- 5) Tratamiento de lodos.
- 6) Tratamiento avanzado.

1.3.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.

El objetivo del tratamiento preliminar es separar del agua residual aquellos constituyentes que pudieran provocar problemas de funcionamiento y mantenimiento en los procesos, operaciones y sistemas auxiliares posteriores. Por lo tanto, los dispositivos del tratamiento preliminar se diseñan para separar cantidades excesivas de grasas y aceites, y sólidos inorgánicos pesados (arena, grava); así como separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos flotantes o suspendidos.

Para lograr los objetivos del tratamiento preliminar se emplean comúnmente estos dispositivos:

- a) Rejas y cribas de barras.
- b) Cribas finas.
- c) Desmenuzadores.
- d) Medidores de gasto.
- e) Desarenadores.
- f) Tanque de homogeneización y regulación de caudales.
- g) Tanques de preaireación.
- h) Distribuidor de gasto.

a) Rejas y cribas de barras. Son cernidores compuestos de barras paralelas, colocadas verticalmente o inclinadas en dirección del flujo, que captan los desechos del agua residual para proteger las bombas, válvulas, conducciones y otros elementos. Las rejillas pueden ser fijas o móviles y limpiarse manual o mecánicamente. Ver Figura 1.10.

b) Cribas finas. Son rejas con aberturas de hasta 3 mm ($1/8''$) que sirven para separar sólidos relativamente pequeños, usándose generalmente en el tratamiento de aguas industriales. Se clasifican en cribas de banda, de disco y de tambor. Su limpieza se realiza mediante chorros de agua a presión, vapor o con un agente desengrasador. Ver Figura 1.11.

c) Desmenuzadores. Los molinos, cortadoras y trituradores son dispositivos que se emplean para cortar los sólidos hasta que puedan ser reintegrados a las aguas residuales sin peligro de obstruir bombas o tuberías o afectar los sistemas de tratamiento posteriores. Se recomienda colocarlos precedidos de desarenadores para alargar la vida del equipo. Ver Figura 1.12.

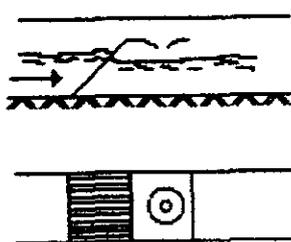


Figura 1.10 Reja de barras

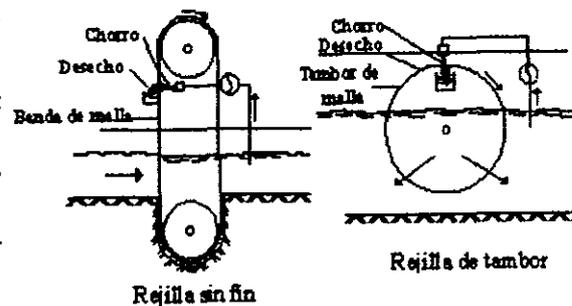


Figura 1.11 Cribas finas

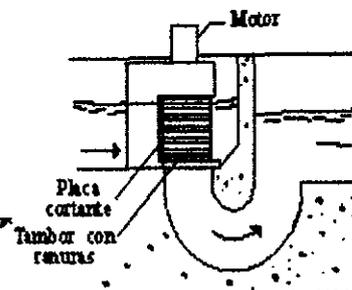


Figura 1.12 Tritrador.

d) **Medidores de gasto.** Un aspecto importante para la operación de una planta de tratamiento es la medición del caudal, pues permite llevar un control y seguimiento de los procesos e informar los gastos que se están generando. Se puede decir que:

1. El dispositivo más utilizado para la medición del caudal en canales es el aforador Parshall.
2. En conducciones cerradas los dispositivos más empleados son: los tubos de flujo, los orificios, los tubos pitot, rotámetros, vénturis, medidores magnéticos y ultrasónicos, dispositivos de vórtice y medidores de turbina o de hélice.

e) **Desarenadores.** Los desarenadores son cámaras de sedimentación que se usan para eliminar los sólidos inorgánicos gruesos y la materia orgánica pesada que puede dañar los procesos o las partes mecánicas de la planta de tratamiento. Su funcionamiento consiste en disminuir la velocidad del flujo para que los sólidos se depositen. Los desarenadores pueden limpiarse manual o mecánicamente y en general, las arenas que se remueven se eliminan por incineración o como relleno en el terreno. Otros tipos de desarenadores son el de vórtice y el aireado. Ver Figura 1.13.

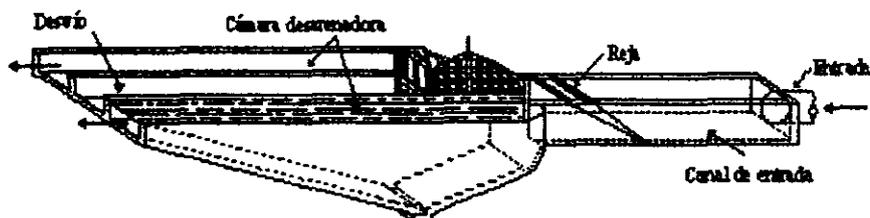


Figura 1.13 Desarenador.

f) **Tanque de homogeneización y regulación de caudales.** La homogeneización consiste en amortiguar las variaciones de gasto para mejorar la eficiencia del tratamiento. Para evitar que las aguas residuales se vuelvan sépticas se instalan sistemas de mezclado y aireación. Existen dos disposiciones de tanques: “en línea”, la totalidad del caudal pasa por el tanque, y “en derivación”, sólo pasa el caudal en exceso. Ver Figura 1.14.

g) **Tanques de preaireación.** Se realiza una aireación antes del tratamiento primario con la finalidad de aglomerar o flocular los sólidos suspendidos ligeros, formando masas pesadas que se depositan en los tanques de sedimentación. Otras ventajas de la preaireación son la separación de grasas, aceites y sólidos, y la restauración de las condiciones aerobias en las aguas residuales. La preaireación se logra forzando el paso de aire comprimido o por agitación mecánica.

h) **Distribuidor de gasto.** Se emplea para dividir el caudal en varias unidades similares o para descargar el gasto que sobrepasa la capacidad de diseño. Los dispositivos más empleados son las cajas de distribución y los vertedores de caída libre. Ver Figura 1.15.

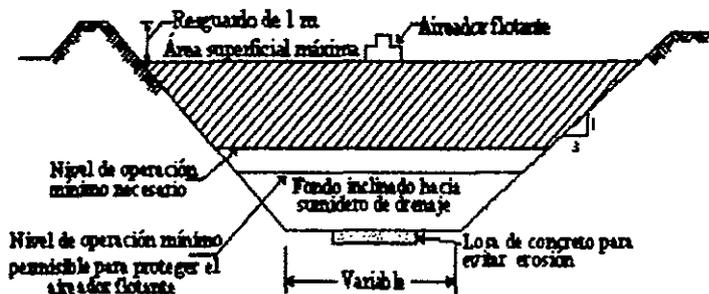


Figura 1.14 Sección transversal de un tanque de homogeneización.

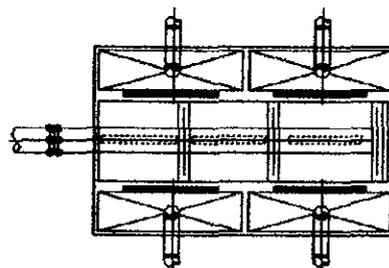


Figura 1.15 Caja de distribución de gasto.

1.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO .

El tratamiento primario tiene la finalidad de remover de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos comúnmente mediante sedimentación al reducir la velocidad del flujo. Las unidades de tratamiento primario pueden dividirse en:

- a) Fosa séptica.
- b) Tanque de doble acción o tanque Imhoff.
- c) Tanque de sedimentación simple.
- d) Flotación.

Para el tratamiento primario existen otras unidades auxiliares como son:

- e) Tanque de precipitación química.
- f) Tanques de floculación.
- g) Mezcladores.

a) **Fosa séptica.** La fosa séptica mantiene el agua residual a baja velocidad y estabiliza los sólidos sedimentables por descomposición anaerobia en el fondo del tanque. Como el agua está en contacto con los sólidos, el efluente de la fosa tiene condiciones sépticas, por lo que se debe disponer en pozos de absorción o en campos de percolación. Este proceso requiere una atención mínima, bastando remover los lodos y las natas ocasionalmente. Ver Figura 1.16.

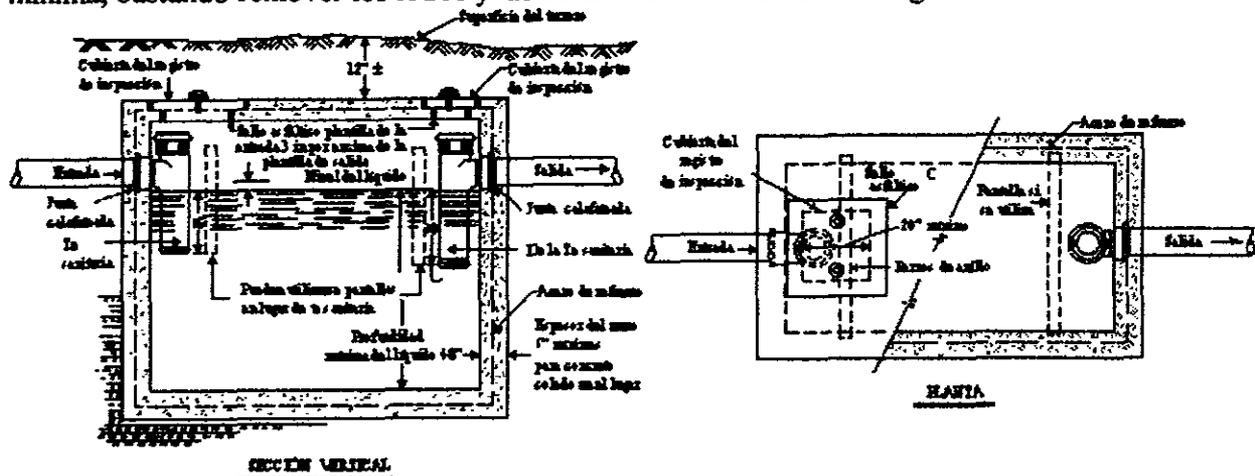


Figura 1.16 Esquema de una fosa séptica.

b) **Tanque de doble acción o tanque Imhoff.** Este tanque corrige los defectos de la fosa séptica, ya que las aguas residuales no se mezclan con los lodos, reduciendo el tiempo de retención y generando un efluente adaptable a un tratamiento posterior. El tanque no tiene problemas mecánicos y es sencillo de operar. Ver Figura 1.17.

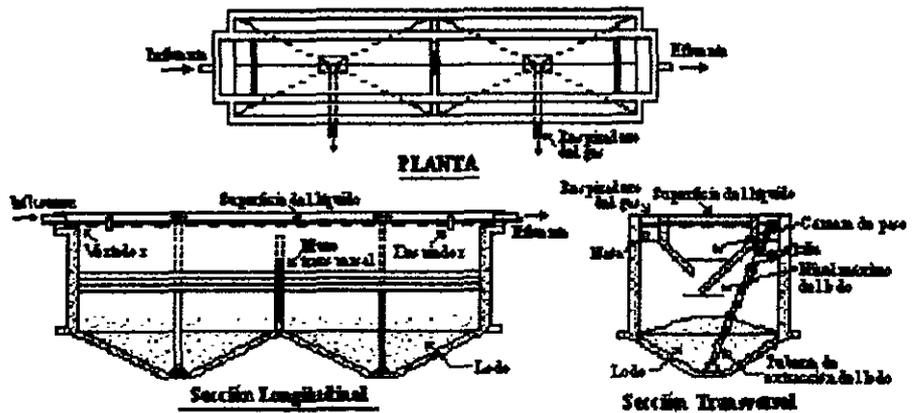


Figura 1.17 Esquema de un Tanque Imhoff.

Tabla 1.10. Tipos de tanques de sedimentación primaria.

	<p>Figura 1.18 Tanque de sedimentación primaria circular.</p> <p>El agua entra en el centro y fluye radialmente hacia la periferia. Se caracteriza porque la longitud del vertedor del efluente es grande y los mecanismos de rastras son simples, pero la estructura no es compacta. Las rastras radiales y desnatadores están fijos al eje central y son impulsadas por un motor. Las rastras mueven los sólidos hacia las tolvas que están en el centro, mientras que los desnatadores separan los sólidos flotantes, grasas y aceites. Ver Figura 1.18.</p>
	<p>Figura 1.20 Tanque de sedimentación primaria horizontal.</p> <p>Estos tanques requieren menos espacio que los circulares y pueden ser contruidos adyacentes a otros tanques, aprovechando paredes comunes. Sin embargo, tienen la desventaja de que la longitud del vertedor del efluente es corta, por lo que necesitan vertedores suspendidos (Figura 1.20). Pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tanques rectangulares. El agua entra por un extremo y fluye horizontalmente hacia el otro. La recolección de lodos y espumas es a base de rastras fijas a las orillas del tanque o mediante un puente viajero con paletas. Tanques cuadrados. El agua puede entrar en el centro y fluir hacia los cuatro lados, o entrar por un lado y atravesar el tanque. El mecanismo de recolección de lodos es similar al de los tanques circulares.

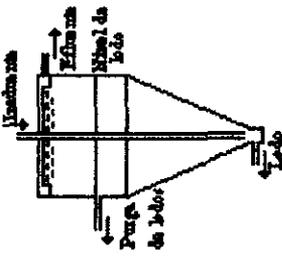


Figura 1.19 Tanque con fondo de tolva de flujo vertical.

Se usa en instalaciones pequeñas y su operación se basa en mantos de lodo que filtran las partículas diminutas. Tiene la ventaja de introducir el agua residual por el fondo, evitando que se tengan que ir depositando los sólidos. Figura 1.19.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy, Vol 2 1996.

1.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

El tratamiento secundario o proceso biológico busca eliminar los sólidos en suspensión y los compuestos orgánicos biodegradables al combinar diversas operaciones y procesos unitarios. Este nivel de tratamiento depende principalmente de los microorganismos para la descomposición de los sólidos orgánicos en sólidos inorgánicos o en orgánicos estables.

Existen tres formas de tratamiento biológico: los procesos aerobios, que se realizan en presencia y con consumo de oxígeno; los procesos anaerobios, que suceden en ausencia de oxígeno; y los procesos facultativos, en los que los organismos pueden vivir en presencia o en ausencia de oxígeno. Adicionalmente, existe otro proceso denominado anóxico, en donde las principales reacciones están encaminadas a la desnitrificación anaerobia.

Los procesos biológicos, a su vez, se pueden clasificar en función del crecimiento de los microorganismos en: sistemas con microorganismos en crecimiento sobre una superficie o biomasa fija y sistemas con microorganismos en suspensión. En la Figura 1.22 se presenta la clasificación de los principales reactores biológicos para el tratamiento de aguas residuales.

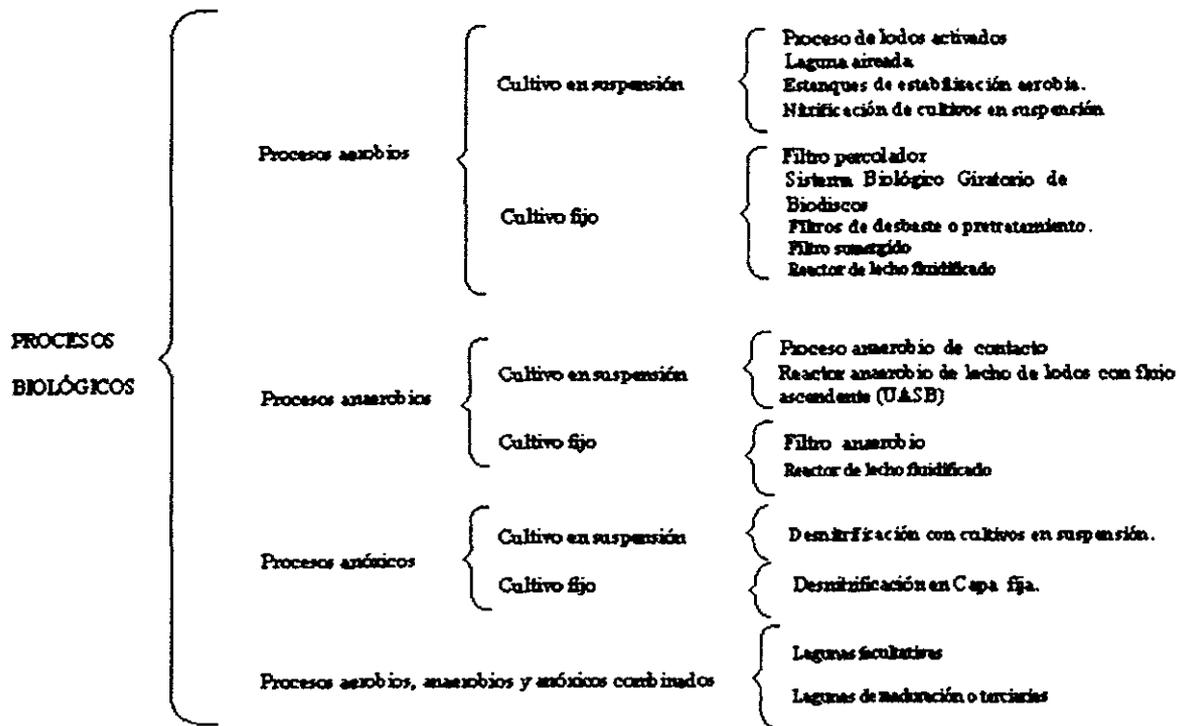


Figura 1.22 Clasificación de los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales.

A continuación se describen los principales procesos de tratamiento biológico empleados en México en función de la magnitud de gasto de agua residual que manejan. Ver Tabla 1.14.

a) Lodos activados. Es el proceso que trata el mayor volumen de agua residual doméstica en México. Consiste en un tanque de aireación que contiene el cultivo bacteriano aerobio en suspensión mezclado con agua residual y aire (Ver Figura 1.23).

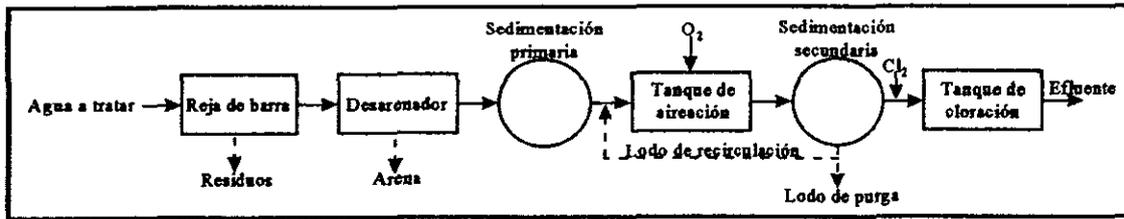


Figura 1.23 Diagrama de bloques típico para el proceso de lodos activados.

El aire se suministra al tanque con difusores o aireadores mecánicos para llevar a cabo la degradación de la materia en condiciones aerobias, y proporcionar una velocidad de flujo suficiente que mantenga los sólidos en suspensión (Ver Figura 1.24).

Los microorganismos obtienen los nutrientes necesario para su desarrollo del agua y forman el lodo activado; y a la mezcla de éste con el agua se le llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador, en donde el lodo se sedimenta para producir un efluente con bajo contenido de DBO y sólidos suspendidos. Los sedimentadores secundarios pueden ser circulares o rectangulares y son similares a los empleados en el tratamiento primario (Ver Figura 1.25).

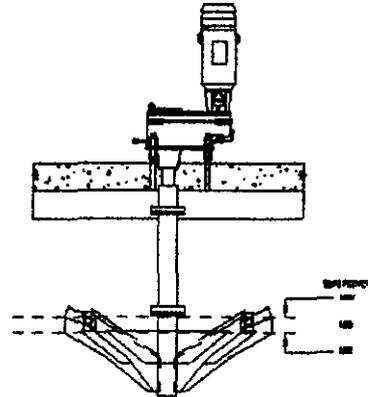


Figura 1.24 Aireador mecánico de baja velocidad.

Una porción del lodo sedimentado es retornado al tanque para mantener una relación alimento-microorganismo (F/M) apropiada y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica. El resto del lodo es purgado del sistema para conservar su concentración constante en el tanque.

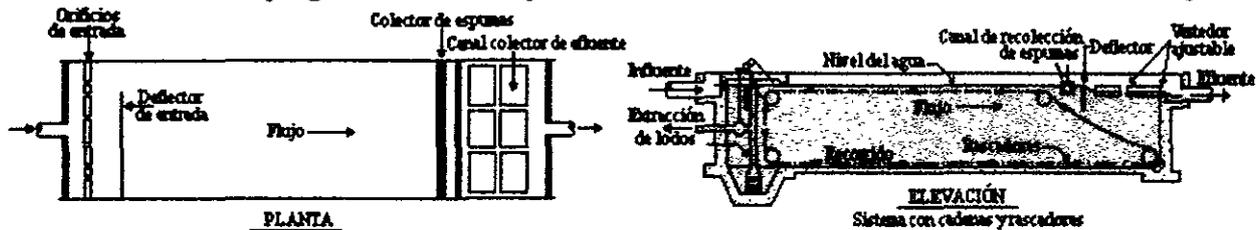


Figura 1.25 Sedimentador secundario rectangular.

Se han desarrollado un gran número de variantes de lodos activados con la finalidad de mejorar el tratamiento, disminuir los costos y producir un lodo más estable. En la Tabla 1.11 se muestra un resumen de las variantes que más se emplean en la práctica.

Tabla 1.11 Descripción de las principales modificaciones del proceso de lodos activados.

MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Convencional (flujo pistón)	El agua residual y el lodo de recirculación entran al tanque de aireación en un extremo y son aireados con difusores o aireadores mecánico. En la aireación se realiza la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. La salida se encuentra en el extremo opuesto a la entra.
Completamente Mezclado	El influente se dispersa uniformemente en todo el tanque de aireación, de manera que se produce una demanda de oxígeno y carga orgánica uniforme en el tanque. Ver Figura 1.26.
Aireación Extendida	Funciona en la fase de respiración endógena, requiriendo de una carga orgánica relativamente baja y un largo período de aireación. Produce pocos lodos y se emplea mucho en plantas prefabricadas para pequeñas comunidades.
Estabilización por contacto	Este proceso usa la capacidad de adsorción que tienen los lodos activados para quitar materia orgánica en solución en un tanque pequeño. Ver Figura 1.26.
Sistema de Oxígeno Puro	Se emplea oxígeno puro como sustituto del aire. El oxígeno se distribuye con difusores en tanques de aireación cubiertos y se recicla. Ver Figura 1.26.

Tabla 1.11 Descripción de las principales modificaciones del proceso de lodos activados (Continuación).

MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Zanjas de oxidación	Consiste en un canal en forma de anillo, óvalo o carrusel, equipado con aireadores mecánicos que proporcionan el oxígeno requerido y ayuda a circular el licor mezclado. Son una forma de aireación extendida, con largos tiempos de retención hidráulico y celular.
Reactor Intermittente o Secuencial	Consiste en sistemas de llenado-vaciado en un reactor de mezcla completa. El licor mezclado es retirado del reactor al final de cada ciclo, eliminando el clarificador secundario.
Proceso Kraus	Se usa en aguas residuales con bajos niveles de nitrógeno. La nata y una porción de lodos son llevados a un tanque de aireación diseñado para nitrificar.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 2 1996.

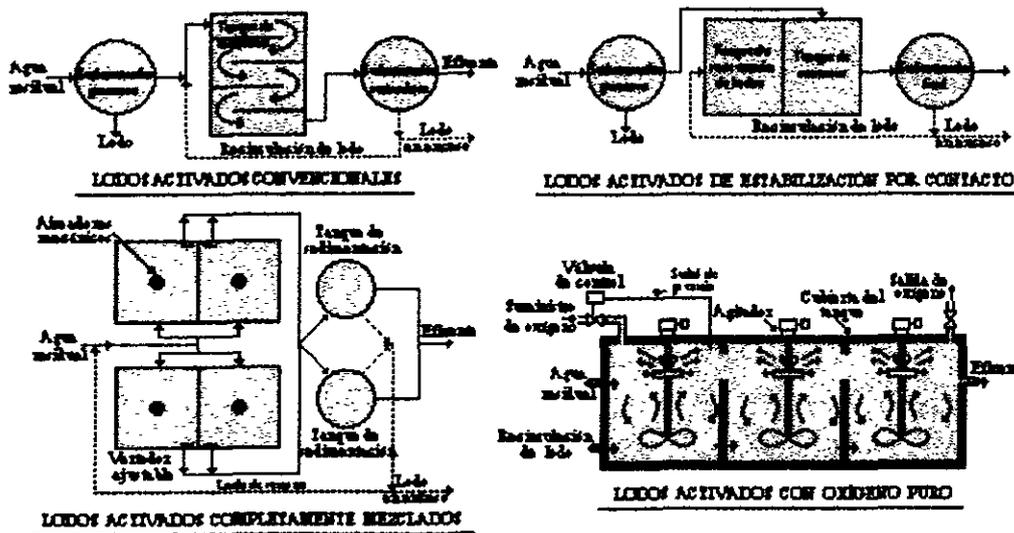


Figura 1.26 Esquemas de algunas variantes del proceso de lodos activados.

b) **Lagunas de estabilización aerobia.** Consisten en depósitos grandes de poca profundidad excavados en el terreno, en donde el tratamiento del agua depende de algas y bacterias. El oxígeno es suministrado por aireación de la superficie y a través de la fotosíntesis realizada por las algas, y es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono producido en la degradación son empleados, a su vez, por las algas. También hay otros animales superiores como rotíferos y protozoos que mejoran el efluente.

c) **Filtro Percolador.** Es un tanque que contiene un lecho formado por un medio permeable en donde se encuentran adheridos los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica y a través del cual se filtra el agua residual. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta, por lo que la capa biológica se desprende cíclicamente del lecho en forma natural. Una vez que el agua residual ha pasado por el lecho filtrante es colectada junto con los sólidos biológicos en la parte inferior y conducida a un sedimentador secundario, donde se sedimenta el lodo generado en el proceso. Ver Figura 1.27.

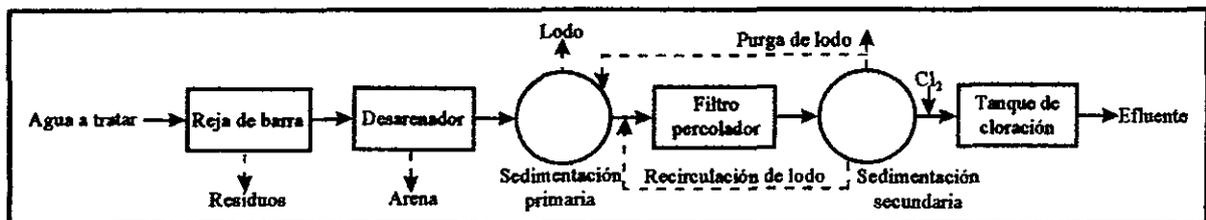


Figura 1.27 Diagrama de bloques típico para el proceso de filtros percoladores.

El reactor es generalmente circular, por lo que el agua es distribuida sobre el lecho mediante un distribuidor giratorio. El medio filtrante consiste en piedras o piezas de material sintético. Ver Figura 1.28.

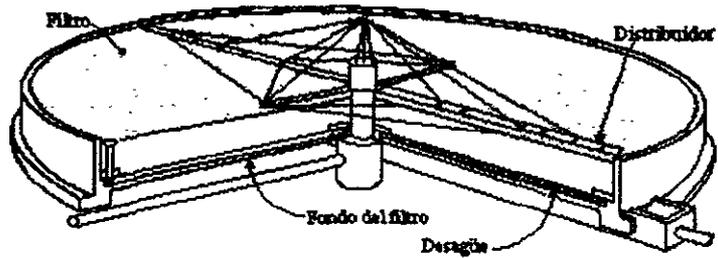


Figura 1.28 Esquema de un filtro percolador típico.

d) **Laguna Aireada Aerobia.** Este proceso es similar al de lodos activados, excepto que el reactor es un depósito excavado en el terreno y que la gran superficie de las lagunas puede dar lugar a efectos térmicos más marcados. En una laguna aireada se mantienen en suspensión solo una parte de los sólidos, y el aire requerido por el proceso es suministrado por aireadores o difusores. La microbiología es parecida a la empleada en lodos activados. En este sistemas es posible realizar una nitrificación tanto estacional como continua. Ver Figura 1.29.

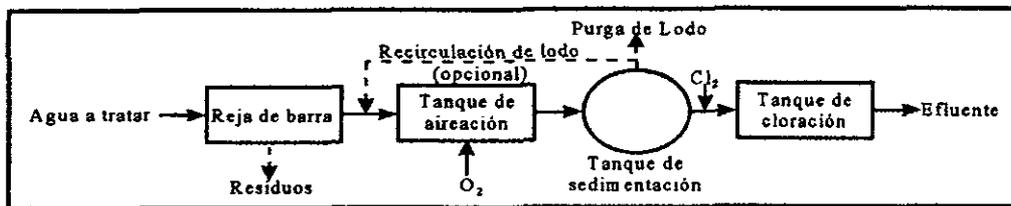


Figura 1.29 Diagrama de bloques típico para el proceso de lagunas aireadas.

e) **Sistema Biológico Giratorio de Contacto o Biodiscos.** Este proceso se emplea como tratamiento secundario, aunque también puede usarse para obtener una nitrificación estacional o continua. Consiste en una serie de discos concéntricos de poliestireno o cloruro de polivinilo parcialmente sumergidos en agua residual, en donde los microorganismos se adhieren formando una película biológica denominada biomasa. La rotación de los discos pone alternativamente en contacto la biomasa con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera para la adsorción del oxígeno. La rotación es así mismo, el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos adheridos a los discos y mantienen la materia en suspensión, de manera que ésta pueda ser transportada al tanque clarificador o sedimentador secundario para remover los sólidos en suspensión remanentes. Ver Figura 1.30

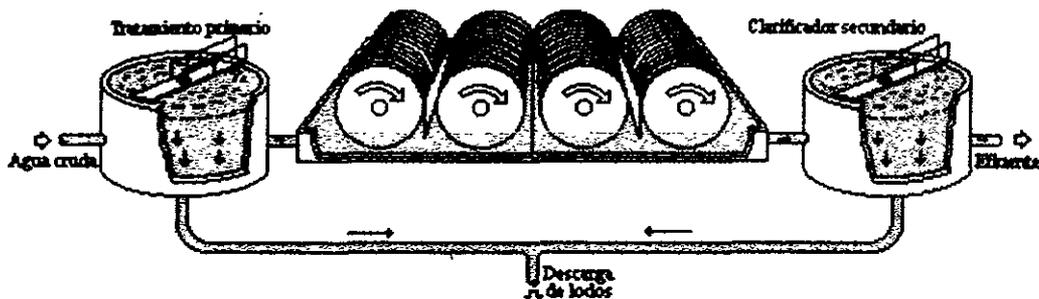


Figura 1.30 Esquema del proceso de biodisco o contador biológico.

f) **Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos con Flujo Ascendente (UASB).** El agua residual se introduce al reactor por la parte inferior, se distribuye uniformemente y en su trayectoria ascendente atraviesa el lecho de lodos donde la materia orgánica es transformada principalmente en biogás. En la parte superior del reactor existe una zona de captación de biogás y una de sedimentación del agua tratada.

g) Proceso Anaerobio de Contacto. Este tratamiento se emplea básicamente en la depuración de aguas residuales industriales con alto contenido de DBO y sólidos suspendidos volátiles. Consiste en un reactor sellado que impide la entrada de aire, al cual se introducen el agua a tratar con los lodos recirculados para ser digeridos anaerobiamente. El contenido del reactor se mezcla y una vez terminada la digestión se lleva a un clarificador o unidad de flotación al vacío para separar los sólidos. El lodo sedimentado es retornado al reactor para servir de siembra al agua residual entrante y, dada la baja tasa de síntesis de los microorganismos anaerobios, el exceso de lodo a evacuar resulta mínimo.

h) Lagunas Anaerobias. Este proceso es empleado en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido orgánico y concentración de sólidos, ya que logra eliminar del 70 al 85 % de DBO₅. Está constituido por un estanque profundo excavado en el terreno, dotado de conducciones para entrada y salida de flujo. El tratamiento es anaerobios en toda su profundidad, excepto en una estrecha zona de superficie y la estabilización del agua se consigue por precipitación y conversión anaerobia de los residuos orgánicos en metano, dióxido de carbono y otros gases; así como ácidos orgánicos y tejidos celulares. Los sólidos se sedimentan en el fondo del estanque y el efluente parcialmente clarificado es conducido a un proceso de tratamiento posterior.

i) Lagunas Facultativas. Son tanques excavados en el terreno, en donde la estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo bajo la acción de bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. Para que esto se realice, el estanque está dividido en tres zonas: 1) una superficial compuesta por bacterias aerobias y algas en relación simbiótica; 2) una intermedia parcialmente aerobia y anaerobia, donde las bacterias facultativas realizan la descomposición de la materia orgánica; 3) una inferior, en la que los sólidos acumulados son descompuestos por las bacterias anaerobias. Ver Figura 1.31.

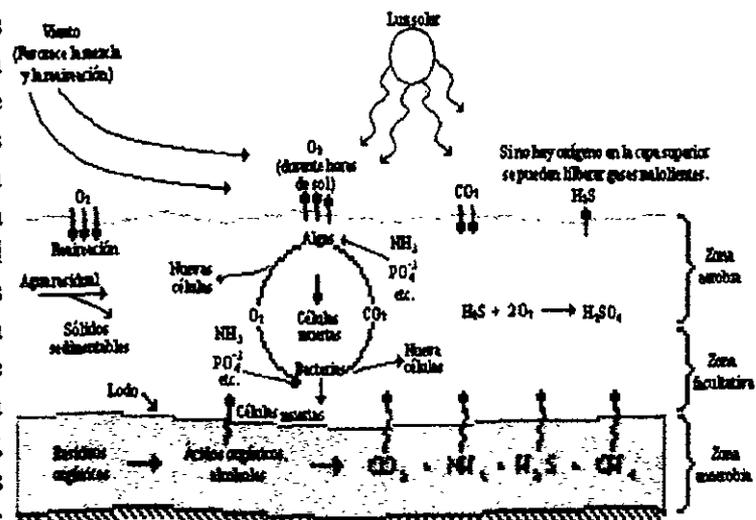


Figura 1.31 Esquema de una laguna facultativa.

1.3.4 DESINFECCIÓN.

La desinfección es la destrucción de los organismos patógenos y tiene como finalidad proteger los cuerpos receptores de aguas residuales para evitar la propagación de enfermedades. La desinfección se puede realizar mediante agentes químicos, físicos o radiación. Los agentes químicos que se han utilizado son: cloro y sus compuestos, iodo, bromo y ozono. Como desinfección física se tiene la filtración, el calor y la luz. Por último, las radiaciones empleadas son: ultravioleta y gamma, siendo esta última la que tiene mayor fuerza de penetración.

En la actualidad, el desinfectante universalmente empleado es el cloro y sus compuestos (dióxido de cloro, hipoclorito de calcio y de sodio) debido a su eficiencia y bajo costo. Además de la desinfección, estos productos químicos se emplean para impedir malos olores, reducir la putrefacción, evitar formación de espumas y proteger las estructuras de la planta de tratamiento. Sin embargo, tiene el inconveniente de formar productos orgánicos clorados, potencialmente tóxicos.

1.3.5 TRATAMIENTO DE LODOS.

Los lodos están constituidos por agua y sólidos responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas, por lo que están sujetos a procesos de descomposición más intensos que los pueden hacer indeseables, lo que obliga a someterlos a un tratamiento que modifique sus características para que su disposición no ponga en peligro la salud o cause molestias. Además, el tratamiento de lodos debe buscar disminuir su volumen y degradar la materia orgánica putrescible a compuestos relativamente estables o inertes.

Para seleccionar el tipo de tratamiento se debe conocer su cantidad y composición, las cuales varían según las características del agua residual de donde hayan sido retirados y, sobre todo, del proceso de tratamiento que los generó. Ver Tabla 1.12.

Tabla 1.12 Características de los lodos que se producen durante el tratamiento del agua.

ORIGEN DEL LODO	DESCRIPCIÓN
Residuos de rejillas y cribas	Incluyen materiales orgánicos e inorgánicos de tamaño suficientemente grande para ser eliminado por rejillas. Generalmente es putrescible y desagradable. El contenido de materia orgánica varía en función de la naturaleza del sistema. Puede eliminarse por quema, entierro y molido con retorno o molido con transferencia a un digestor de lodo.
Arenas	Constituidas por sólidos inorgánicos pesados que sedimentan a velocidades relativamente grandes. Dependiendo del funcionamiento, la arena puede contener cantidades significativas de materia orgánica.
Espumas y grasas	Formado por materiales flotantes recogidos en la superficie de los tanques como: grasas, aceites, papel, algodón, materiales de plástico, etc. Generalmente más del 90 % es agua.
Lodo primario	Derivado de los tanques de tratamiento primario, es de color gris, grasiento, putrescible y de olor fuerte. Su contenido de humedad es de aproximadamente 93 %.
Lodo activado	Apariencia floculenta, de color marrón, parcialmente descompuesto. Cuando está fresco tiene un olor a tierra. Tiende a convertirse en séptico rápidamente. El contenido de humedad es de un 98 %.
Lodo de precipitación química	Proviene de tanques de precipitación química. Es de color oscuro, olor molesto y consistencia gelatinosa. Contenido de humedad del 95 %.
Lodo de filtro percolador	El lodo es de color pardusco, floculento, relativamente inodoro y parcialmente descompuesto. El contenido de humedad es de un 93 %.
Lodo digerido	Es de color oscuro y tiene una textura homogénea. Cuando está húmedo, tiene olor a alquitrán. Su contenido de humedad está cerca del 90 %.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy, Vol 2 1996. Merril, Vol IV 1995.

Existe una gran gama de procesos de tratamiento de lodos, por lo que para seleccionar uno se debe considerar: el objetivo del mismo; el origen, naturaleza, cantidad y características del lodo; el costo de la evaluación y del tratamiento; y la aplicación que puedan tener estos residuos ya estabilizados. Como consecuencia, para escoger un tren de tratamiento de agua residual se debe considerar que, además de proporcionar un efluente con la calidad requerida, no debe generar grandes cantidades de subproductos indeseables y con constituyentes que dificulten su tratamiento. Los métodos que se emplean para el tratamiento de lodos se observan en la Figura 1.32.

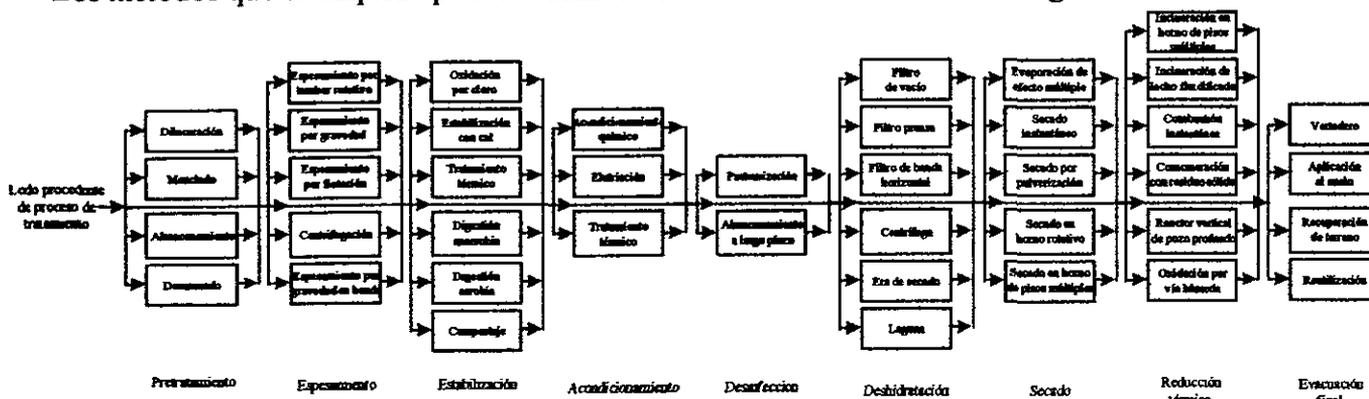


Figura 1.32 Diagrama de bloques general para el tratamiento y evacuación del lodo.

Los procesos de espesamiento, acondicionamiento, deshidratación, secado y reducción térmica tienen como finalidad eliminar la humedad del lodo; mientras que la estabilización y desinfección se utilizan para modificar sus propiedades y simplificar su disposición final. En la Tabla 1.13 se resumen los procesos más usados en el tratamiento de lodos.

Tabla 1.13 Procesos de tratamiento y manejo de lodos.

Método de tratamiento	Objetivo
Operaciones de pretratamiento:	Sirven para lograr que el flujo de lodo por tratar sea relativamente constante y homogéneo.
Trituración	Reducción de tamaño de los sólidos contenidos en el lodo.
Mezclado	Uniformizar las características de los lodos.
Almacenamiento	Absorber variaciones de gasto para lograr un caudal constante.
Desarenado	Remoción de arenas (Desarenadores ciclónicos).
Espesamiento :	Consiste en la remoción de agua con la finalidad de reducir el volumen de lodo por tratar.
Por gravedad	Reducción del volumen por sedimentación y compactación del lodo.
Flotación	Disminución del volumen por inyección de aire.
Centrifugación	Espesamiento de los lodos.
Con banda de gravedad	Reducción del volumen por escurrimiento del agua al pasar los lodos por una banda móvil.
Tambor giratorio	Separación de sólidos floculados con polímeros del agua.
Estabilización :	Consiste en reducir la putrefacción y presencia de los organismos patógenos en los lodos.
Adición de cal	Aumentar el pH que provoca la muerte de los microorganismos y evitar que el lodo se pudra
Tratamiento térmico	Calentar los lodos para la esterilización del mismo.
Digestión anaerobia	Producir un lodo que no se pudra, con bajo contenido de patógenos y reducir volumen.
Digestión aerobia	Degradación de la materia orgánica por proceso similar al de lodos activados.
Composteo	Destrucción de los organismos patógenos y recuperación del producto.
Acondicionamiento :	Consiste en tratar el lodo con sustancias químicas o calor para separar el agua.
Químico	Facilitar la deshidratación mediante la aplicación de coagulantes químicos.
Tratamiento térmico	Pretratamiento para digestión.
Elutriación	Reducir el requerimiento de químicos al bajar la alcalinidad por el lavado de los lodos.
Desinfección :	Consiste en eliminar los organismos patógenos presente en los lodos.
Pasteurización	Transmisión de calor a los lodos para matar los organismos patógenos.
Almacenamiento prolongado	Eliminación de patógenos.
Deshidratación :	Reducir el contenido de humedad del lodo.
Filtro al vacío	Eliminación de agua con un tambor giratorio parcialmente sumergido en el lodo.
Filtro prensa	Separación del agua en cámaras revestidas con fieltro y sujetas a presión que retiene sólidos
Filtro de banda horizontal	Espesamiento del lodo mediante drenaje por gravedad y compresión con rodillos.
Centrifugación	Reducción del volumen.
Lechos de secado	Eliminación de agua por drenaje y evaporación en lechos poco profundos con fondo poroso.
Lagunas	Reducción de humedad por evaporación al depositar el lodo en lagunas.
Secado térmico :	Reducción del contenido de agua por evaporación de ésta al aire al aumentar la temperatura.
Evaporación efecto múltiple	Evaporación del agua y separación de sólidos y aceites.
Secado instantáneo	Disminución del agua por pulverización en presencia de gases calientes.
Secado por pulverización	Secado del lodo por centrifugación a alta velocidad y pulverización en presencia de calor.
Secado en horno giratorio	Eliminación de agua por poner a los lodos en contacto con gases calientes.
Secador de hogares múltiples	Reducción del agua por contacto del lodo con gases calientes en varias etapas.
Reducción térmica :	Transformar los sólidos orgánicos a productos finales con poder calorífico.
Incineración hogares múltiples	Convierte el lodo en cenizas inertes con aplicación de calor, disminuyendo su volumen.
Incineración lecho fluidificado	Combustión del lodo con aire fluidificante.
Co-incineración con desecho	Incineración del lodo junto con residuos sólidos urbanos.
Reactor vertical con pozo	Estabilización y reducción de volumen con presión y temperatura en un pozo profundo.
Oxidación con aire húmedo	Oxidación de la materia orgánica y reducción de volumen por aplicación de aire comprimido
Evacuación final :	Destino final que se da a los lodos.
Aplicación al suelo	Disposición con aprovechamiento del lodo en terrenos agrícolas, forestales o marginales.
Fijación química	Aprovechamiento del residuo y disposición final.
Rellenos sanitarios	Disposición final.
Lagunas	Reducción de volumen y disposición final.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 2 1996. Merrit. Vol IV 1995.

1.3.6 TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO .

Se recurre a este nivel de purificación cuando se requiere una calidad de agua tratada mayor. Los procesos más comunes de tratamiento terciario son:

a) **Ósmosis inversa.** En este proceso se separa el agua de las sales disueltas que no son susceptibles de ser eliminadas con otras técnicas de desmineralización, por medio de la filtración a través de una membrana semipermeable a una presión superior a la presión osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual.

b) **Ultrafiltración.** Es un proceso semejante a la ósmosis inversa, ya que emplea membranas porosas para la eliminación de materia disuelta (proteínas, polímeros, almidones, enzimas), coloidal (arcilla, pigmentos, minerales, microorganismos) y emulsiones (grasa, detergente y aceite), pero lo realiza a presiones relativamente bajas.

c) **Adsorción con carbón activado.** Tiene la capacidad de remover sustancias orgánicas resistentes a la descomposición biológica. El agua residual fluye a través de una columna que contiene al carbón activado para que las sustancias se adhieran a las superficies de las partículas de carbón. El sistema es lavado periódicamente a contracorriente.

d) **Coagulación-sedimentación.** Este tratamiento remueve los sólidos remanentes de los procesos biológicos; así como fósforo, metales pesados, bacterias y virus. Consiste en inyectar al agua residual coagulantes como cal, alumbre o cloruro férrico que aceleran la sedimentación de los sólidos, ya que hacen que se aglutinen. La acción se mejora al agregar un polímero, como ayuda en la sedimentación, y por floculación o agitación lenta. Después el agua pasa a un sedimentador o clarificador donde se depositan los sólidos en el fondo.

e) **Electrodialisis.** En este proceso los componentes iónicos del agua residual se separan por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones, al cual se le aplica un potencial eléctrico.

f) **Microtamizado.** Consiste en un tambor giratorio de baja velocidad, en donde el agua entra por el extremo abierto del tambor y sale a través de los tejidos filtrantes que se disponen en el perímetro del mismo. Los sólidos separados se lavan a contracorriente mediante inyectores de agua a presión y se conducen a un recipiente situado dentro del tambor.

g) **Cloración al punto de quiebre.** Remueve nitrógeno al formar compuestos que se convierten en gas nitrógeno. Para lograr esta transformación deben agregarse 10 mg de cloro por cada mg de nitrógeno amoniacal. El resultado es que se necesitan 40 o 50 veces más de cloro que el que se requiere para la desinfección.

1.3.7 TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL .

En los últimos años se ha observado un incremento en el número de industrias con desechos de difícil tratamiento y disposición, por lo que, es fácil comprender que el problema de recolección, tratamiento y disposición de aguas industriales es de gran magnitud y complejidad.

El agua residual de origen industrial varían en cantidad y composición en función del tipo de industria y de los procesos que producen la descarga, siendo en general su poder contaminante mucho mayor que el de las aguas residuales domésticas. Antes de seleccionar el tren de tratamiento es recomendable evitar la descarga de los desechos sólidos con los líquidos y reducir,

mediante acciones de optimización y minimización de descargas en la planta productiva, el volumen del agua por tratar. Igualmente, la separación de corrientes que requieran de un tratamiento intenso de las que requieren un tratamiento somero, es una acción redituable, ya que su eliminación y disposición es más fácil y barata en forma separada.

En general, el tratamiento del agua residual industrial requiere de procesos especializados que degraden y remuevan los fuertes contaminantes que la caracteriza, con objeto de lograr un efluente aceptable para ser descargado a una corriente receptora. El tren de tratamiento puede incluir:

1. Pretratamiento para reducir la temperatura, neutralizar los desechos y eliminar sólidos suspendidos de tamaño apreciable por medio de cribados o sedimentación.
2. Remoción de grasas, aceites y sólidos grasos por flotación, desnatado y/o tratamiento químico.
3. Eliminación de los sólidos coloidales por floculación con coagulantes químicos y electrolitos, seguida de sedimentación o incluso filtración.
4. Eliminación o estabilización de los sólidos disueltos mediante precipitación química, permutación iónica, procesos biológicos o sus combinaciones.
5. Preacondicionamiento o tratamiento secundario por digestión anaerobia.
6. Intercambio de iones, diálisis, ósmosis inversa o evaporación para eliminar sólidos inorgánicos y recuperación de reactivos.
7. Cloración u ozonación con propósito de oxidación o desinfección.

Estos procesos son adaptaciones del tratamiento de aguas residuales municipales que se modifican para obtener resultados más eficaces, según el caso.

1.4 LEGISLACIÓN NACIONAL EN MATERIA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Aunque de manera indirecta, desde tiempos de la colonia ha existido preocupación por proteger los recursos naturales. Sin embargo, no fue sino hasta marzo de 1971 que se dio inicio a la estructuración de un marco legal en materia de protección al ambiente al promulgarse la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental y, de forma más directa sobre la normatividad de aguas residuales, en el Reglamento para Prevención y Control de la Contaminación de Aguas de 1973. Este ordenamiento fue derogado en febrero de 1982, cuando se puso en vigor la Ley Federal de Protección al Ambiente. En este documento se establecen medidas orientadas a la protección del ambiente, se regulan todos los ámbitos en que la contaminación podía presentarse, así como sus efectos, y se incorpora la evaluación del impacto ambiental de las obras públicas y privadas, con la finalidad de constituir un instrumento de planeación de proyectos. (Vázquez González, 1993)

Para fortalecer las bases constitucionales en materia ambiental, en agosto de 1987 se reformaron los artículos 27 y 63 de la Constitución Política, dando prioridad a la preservación y restauración del equilibrio ecológico al descentralizar las atribuciones de la Ley en las instancias del gobierno Federal, Estatal y Municipal para la protección de los recursos naturales.

La Ley Federal de Protección al Ambiente fue derogada en marzo de 1988, cuando entró en vigor la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**, actualmente vigente, en donde se define la legislación ecológica como un proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso y manejo de los recursos naturales en el territorio nacional. Esta Ley establece el

ordenamiento ecológico general a cargo de la Federación y encomienda el local a los Estados y Municipios de acuerdo a sus respectivas leyes. Además, se comienza a reglamentar el tratamiento de aguas residuales a través de las normas técnicas ecológicas que establecen las especificaciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deben observarse en las descargas.

En nuestros días, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) publicadas en el Diario Oficial de la Federación regulan legalmente las descargas de aguas residuales y las Condiciones Particulares de Descarga (CPD) al especificar parámetros (físicos, químicos y biológicos) como valores máximos o mínimos permisibles que controlan la calidad del agua. Con estas normas el tratamiento de las aguas residuales se convertirá, y en algunos casos ya es, una necesidad legal. En la Figura 1.33 se muestra la evolución de la legislación nacional en materia de tratamiento de agua residual.

Es importante saber que 42 NOM fueron sustituidas por dos NOM nuevas: la NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-002-ECOL-1996. La NOM-003-ECOL-1996 está en proyecto. Cabe mencionar que la NOM-001-ECOL-1996 se publicó el 6 de enero de 1997 y tiene como objetivo establecer los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con la finalidad de proteger su calidad y posibilitar su uso. En el Anexo B se presentan estos límites.

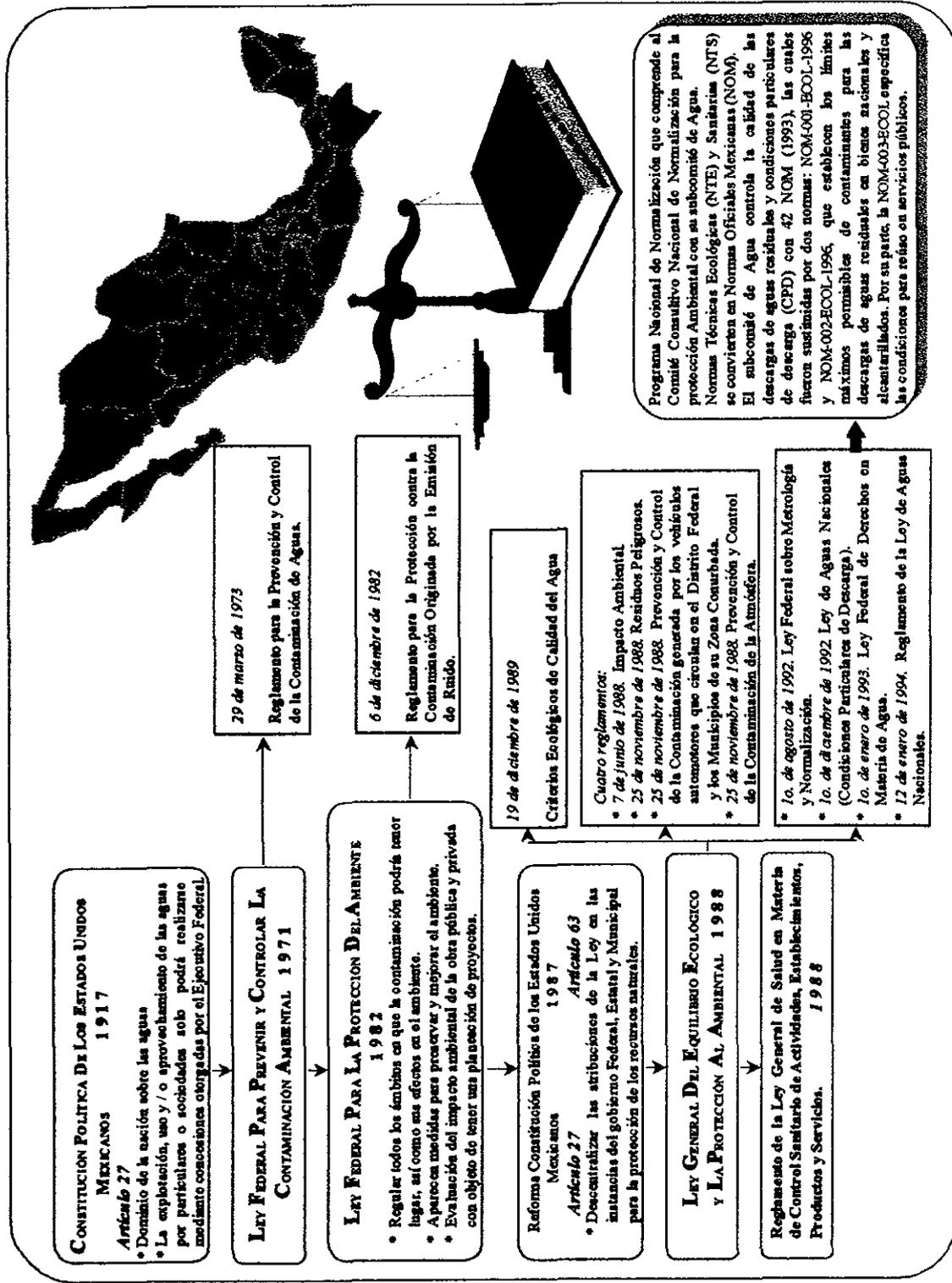
El proyecto de la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 fue publicado el jueves 9 de enero de 1997 y establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. Por su parte, la NOM-003-ECOL-1997 se publicó como proyecto el 14 de enero de 1998 y estipula los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

En la actualidad, las dependencias gubernamentales encargadas de publicar documentos normativos relacionados con la calidad del agua son: la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Secretaría de Salud, siendo la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua y la Ley de Salud las que establecen el marco general de la normatividad sobre aguas residuales.

1.5 SITUACIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.

En México, el aprovechamiento de los recursos naturales, condicionado fuertemente por factores políticos y socioeconómicos, ha generado una serie de problemas ambientales, siendo uno de los primordiales la disminución acelerada de la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y la creciente contaminación de los acuíferos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento.

Las dificultades para suministrar agua potable han aumentado en las últimas décadas debido al crecimiento de la población, convirtiéndose en el principal obstáculo de la planeación y ordenamiento urbano; y a la diversificación de las actividades productivas y urbanas, que en su conjunto demandan grandes volúmenes del recurso, lo cual trae como consecuencia una mayor generación de aguas residuales, que al ser descargadas sin tratamiento en los cuerpos receptores perjudican sus usos legítimos y disminuyen su potencial de aprovechamiento.



Fuente: Adaptado de Morgan, 1996.

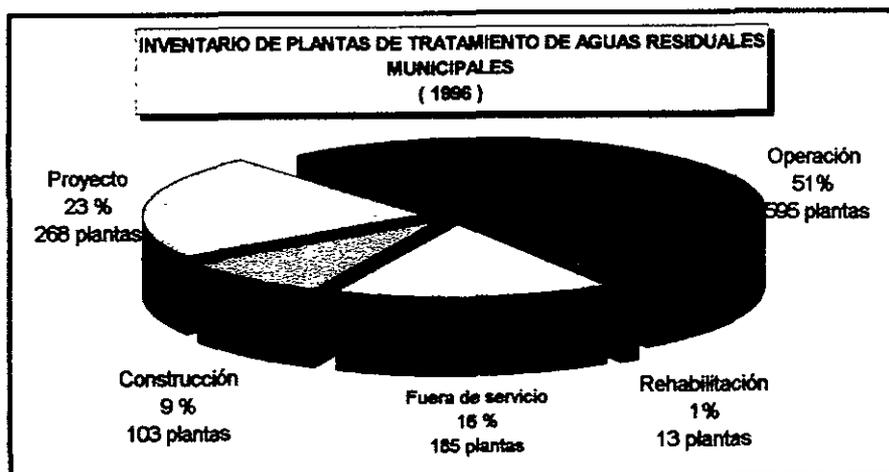
Figura 1.33 Legislación Nacional en Materia de Tratamiento de Agua Residual.

De esta manera, la situación que vive el país se puede resumir en:

- Escasez del recurso que dificulta el suministro oportuno, en calidad y cantidad.
- Necesidad de construir una infraestructura moderna para el desalojo de aguas residuales.
- Falta de saneamiento básico, provocando vulnerabilidad en la salud pública por el uso de aguas residuales en los riegos, sin tratamiento previo.
- Desequilibrio ecológico y degradación ambiental originados por el manejo inadecuado de los recursos naturales.
- Sedesol reportaba que para 1994 la generación de aguas residuales en México era de 608 m³/s, de los cuales sólo 43 m³/s eran tratados.

Como consecuencia, el tratamiento de aguas residuales ha recibido un fuerte impulso en los últimos años y es considerado como una de las principales estrategias adoptadas para preservar la calidad del agua, garantizar el desarrollo sustentable, mejorar la calidad de vida y proteger la salud pública. Esto se observa al comparar los inventarios de plantas de tratamiento de aguas residuales e industriales que existen en toda la República, ya que en 1995 se contaban con 957 plantas (Jiménez y Ramos, 1995) y en diciembre de 1996 existían 2048 (CNA, 1996). De este total de plantas de depuración de aguas, 793 (39%) trataban aguas residuales municipales y 1255 (61%) servían para el tratamiento de aguas industriales, con lo que, en su conjunto, estas plantas trataban un flujo de 55.2 m³/s solamente, que es inferior al compararse con los 77.5 m³/s, que corresponden a la capacidad instalada que tienen las plantas de tratamiento existentes. Es necesario mencionar que, mientras todas las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales se encontraban en funcionamiento, no todas las plantas de aguas residuales municipales estaban trabajando.

De las 793 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, sólo 595 estaban en operación, y del resto, 13 se encontraban en rehabilitación y 185 estaban fuera de servicio. Cabe mencionar que existían 103 plantas en construcción y 268 en proyecto, las cuales tratarán un gasto total de 61 m³/s y, con éstas últimas, se pretende tener 1164 plantas que tratarán aguas residuales municipales. Esta situación se resume en la Figura 1.34. En lo referente a plantas de tratamiento de agua residual industrial, las 1255 plantas existentes tratan un total de 21.4 m³/s de agua, pero sólo 435 cumplen con las condiciones particulares de descarga establecidas (CNA, 1996).



Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1996.

Figura 1.34 Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipal (1996).

Considerando las plantas de tratamiento de agua municipal existentes, en proyecto y en construcción; y las plantas de tratamiento de agua industrial, el total ascenderá a 2419 plantas que tratarán 116.2 m³/s de aguas residuales, el cual corresponde al 19 % del agua generada en México.

En conclusión, a pesar de las inversiones realizadas, la cantidad de agua residual tratada está lejos de ser toda la generada; además, existe una ineficiencia en la operación de la infraestructura de tratamiento, ya que en la mayoría de los casos ésta no funciona como se previó en el diseño, o simplemente, está fuera de servicio, por lo que el deterioro de la calidad de las fuentes naturales receptoras de aguas residuales se ha incrementado. Las causas de ineficiencia de operación o de que se encuentren los sistemas fuera de servicio son diversas. Un análisis preliminar de una muestra de 20 plantas indica que el 45% de ellas no opera eficientemente por falta de recursos financieros; el 30 % se debe a errores conceptuales en su diseño y el 25% restante, por falta de capacitación de los operadores (Romero Álvarez et al, 1996).

Como se observa, en la situación en que se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas en los últimos años, se congregan problemas serios de nuestro país como son: las deficiencias tecnológicas y sobre todo financieras, la escasa capacitación de los operadores; así como la nula conciencia de la problemática ambiental, derivada del manejo inadecuado de las aguas residuales, los cuales se comentan con mayor detalle a continuación.

1.5.1 TECNOLOGÍA APLICADA AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El tratamiento de aguas residuales en México se ha realizado mediante diversos procesos tecnológicos. Para entender esta situación, en la Tabla 1.14 se presentan los resultados obtenidos del inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Tabla 1.14 Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales construidas, por proceso.

Proceso de tratamiento	No. de Plantas		Gasto [1/s]	Proceso de tratamiento	No. de Plantas		Gasto [1/s]
	Instaladas	Operación			Instaladas	Operación	
Lagunas de estabilización	392	306	8291.0	Purificador enzimático	12	7	4.8
Lodos activado	181	134	13780.4	Discos biológicos	9	8	595.0
Tanque Imhoff	58	27	427	Rafa	8	4	29.5
Tratamiento secundario	34	28	1096.3	Desconocido	4	2	7.7
Filtros biológicos	24	20	3606.8	Aereación extendida	3	3	334.9
Tratamiento anaerobio	18	14	45.3	Lagunas - pantano	2	2	19.5
Tratamiento primario	16	13	1949.2	Lemna	1	1	25.0
Zanja de oxidación	16	14	599.0	Tratamiento primario avanzado	1	0	0
Lagunas aireadas	14	12	2934.2	TOTAL	793	595	33745.43

Fuente: Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Comisión Nacional del Agua, 1996.
No incluye plantas en construcción ni en proyecto.

Al analizar esta información, se observa que los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales municipales son las lagunas de estabilización, con las cuales se trata un gasto de 8.3 m³/s. Sin embargo, a pesar de que existe un número menor de reactores biológicos de lodos activados, con este proceso se trata la mayor parte del caudal (13.8 m³/s). Por lo que se refieren al tratamiento de aguas residuales industriales, de las 1255 plantas existentes, 459, es decir el 36 %, proporcionan un tratamiento primario; 735, el 59 %, brindan un tratamiento secundario; y 53 plantas, representando el 4 %, dan un tratamiento terciario a los desechos líquidos.

Algunos factores técnicos que contribuyen a la situación en que se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales en nuestro país son: la existencia de sistemas de alcantarillado de tipo combinado que entorpece el tratamiento durante la época de lluvia; las descargas de tóxicos industriales que no son tratados intramuros; la falta de equipos en los laboratorios sobre los cuales se apoya toda la actividad relativa al control de descargas y del tratamiento; la producción de grandes cantidades de lodos en los métodos empleados, los cuales constituyen un problema difícil de solucionar, los diseños sobredimensionados en los que se encuentran operando la mayoría de las plantas de tratamiento; y la excesiva mecanización, instrumentación y automatización de las plantas, que encarece y complica, tanto la operación y el mantenimiento, como la amortización de las inversiones (Romero Álvarez et al, 1996).

Con base en el panorama anterior y como consecuencia de las modificaciones realizadas a las normas que regulan las descargas de aguas residuales, se aprecia que en varias de las plantas de tratamiento existentes se requiere que se mejore su nivel de tratamiento y/o su eficiencia para cumplir con la legislación actual, con una tendencia a que todas las plantas cuenten con un proceso de tratamiento secundario, e incluso, hasta terciario. Además, en el futuro se buscará mejorar los procesos de tratamientos de aguas existentes con la finalidad de obtener un agua residual tratada de mayor calidad y con el menor costo posible.

1.5.2 ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS.

En los últimos años, el funcionamiento de los organismos operadores de agua potable y alcantarillado en el país se ha modificado. Primero, se descentralizó la responsabilidad operativa y financiera a los municipios; en 1989 se promulgó una nueva Ley Nacional de Aguas y, en fechas recientes, se está buscando la privatización de servicios, en concesión parcial o total de la construcción y operación de los sistemas. Es evidente que esto resuelve de inmediato la falta de liquidez para la construcción de las obras, pero inevitablemente repercute sobre el usuario el costo de la misma. Por lo cual es importante tener en cuenta que, ante la aguda crisis económica que afecta a grandes sectores de la población, las pequeñas y medianas localidades luchan por contar con los servicios de agua potable, sin lograr en la mayoría de los casos la autosuficiencia deseada, y postergan la atención al alcantarillado, y hasta un tercer nivel de prioridad está la construcción y operación de plantas de tratamiento de agua residual.

1.5.3 ASPECTOS INSTITUCIONALES.

Las leyes y reglamentos en materia ambiental definen claramente tanto los derechos como las obligaciones de los usuarios, pero en la práctica hay que salvar serios obstáculos para llevar a cabo su aplicación. Para que esto se lleva a cabo, se ha planteado la gestión del saneamiento por cuencas hidrológicas, lo que hará más evidentes las necesidades, así como la problemática, al mismo tiempo que facilitará su solución técnica y administrativa.

El tratamiento de aguas residuales tiene un carácter multidisciplinario y multisectorial, que involucra actividades típicas de diferentes especialidades, por lo que es necesario complementarlas mediante cursos de capacitación tecnológica que culminen en procesos obligatorios de certificación de diseñadores, constructores y operadores de las plantas de tratamiento, aprovechando la cooperación técnica internacional que se ha establecido.

1.5.4 ASPECTOS SOCIO - CULTURALES .

Como consecuencia de la común ignorancia de los usuarios respecto al potencial contaminante de las aguas residuales, existe una falta de sensibilidad de la población ante el deterioro del agua y del ambiente en general y por ende, su escasa o nula disposición por contribuir a la solución del problema, por lo que se requieren programas destinados a estimular, con bases sólidas, la participación ciudadana en la solución de los problemas de saneamiento ambiental en general, y particularmente en lo relativo a plantas de tratamiento de aguas residuales y uso de cauces para efectuar descargas, con el fin de poder vencer la ignorancia o apatía existente. (Romero Álvarez, 1996).

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO I.

Barragán Villareal J. I. (1995). "Competitividad y privatización de los servicios de agua. Experiencias internacionales", *Agua y Saneamiento, Vol. 1, núm. 3, pags. 5-10*

Comisión Nacional del Agua (1996). "Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales 1996". *Subdirección General Técnica. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Subgerencia de Reuso del Agua y Dictámenes Técnicos. México, D.F.*

Diario Oficial de la Federación, (1997). Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Lunes 6 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Pág. 68 - 81.

Gidi A. F., David. (1991). CONACYT "Información Científica y Tecnológica". *Vol. 13 No. 173.*

Gutiérrez López E., et. Al. (1998). "Avances y perspectivas para el fortalecimiento de las capacidades institucionales del sector agua en materia de impacto ambiental y calidad del agua". *Ingeniería Hidráulica en México, Vol XIII Num 1. Págs 77-89, enero - abril de 1998.*

Jiménez Cisneros, B. E. y Ramos Hernández, J. (1995). "Estudio de disponibilidad de agua en México en función del uso, calidad y cantidad". *Proyecto interno 3320. Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.*

Márquez Moreno, Martín. (1996). "Propuesta para la operación y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales basada en zanjas de oxidación". *Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campo II. U.N.A.M.*

Medrano Baca, Ma. Guadalupe. (1997). "Propuesta de una Metodología para la Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual". *División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Tesis. México, D.F.*

Mejía Maravilla, E. (1995). "Situación actual del tratamiento de aguas residuales en México", Curso: *Tratamiento de aguas residuales municipales para cumplir con la NOM-067-ECOL/1994.* Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C. (SMISA) y Sección mexicana de la AIDIS, XVI Comité Ejecutivo Nacional. 10 al 14 de julio de 1995. México, D.F.

Merrit, Frederick S. (1995). "Manual del Ingeniero Civil. Tomo IV". *McGraw Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V. México, D.F.*

Metcalf & Eddy (1996). "Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, Tomo 1 y 2", *Mc. Graw Hill Publishing Co. U.S.A.*

Murillo Fernández, Rodrigo (1991). "Obra civil de plantas de tratamiento: factores que afectan el funcionamiento" *Revista de Ingeniería Ambiental. Enero de 1991. Año 4. No. 9. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C. Sección Mexicana de la AIDIS. Pags. 6 - 18.*

New York State Department of Health (1990). "Manual de Tratamiento de Aguas Negras" *Editorial Limusa, S. A. de C. V. México, D.F.*

Romero Álvarez, Humberto, García Ollervides, Jesús y Janetti Dávila, Juan (1996). "Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México" *Revista de Ingeniería Civil. Octubre de 1996. Número 330. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C. Ingeniería Sanitaria. Pags. 12 - 18.*

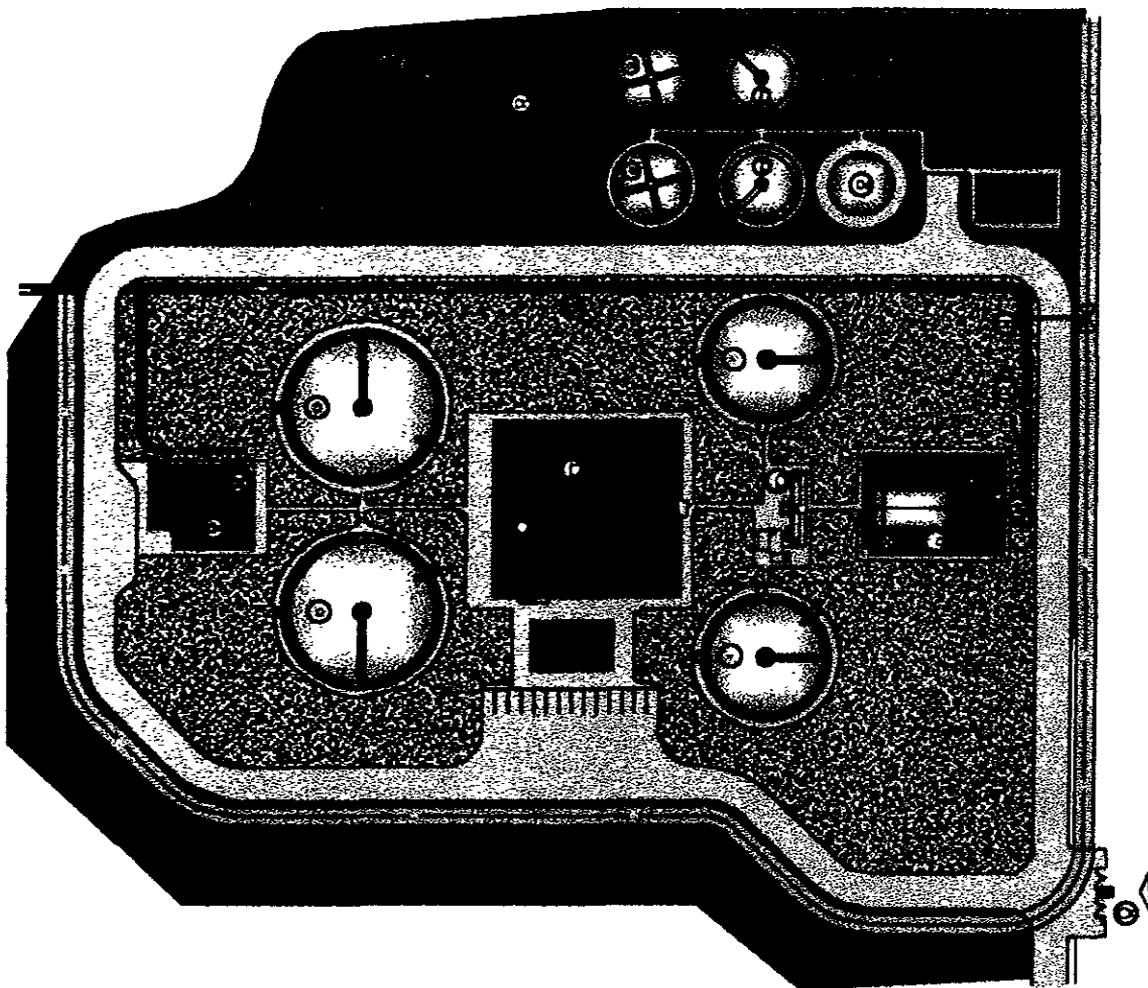
Saucedo Maciel, Alberto (1993). "Factores técnicos que afectan el funcionamiento en plantas de tratamiento de agua residual para conjuntos habitacionales", *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.*

Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). Instituto Nacional de Ecología (INE) (1994). Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 1993-1994. México D. F.

Tebbutt, T. H. Y. (1997). "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua" Editorial Limusa, S. A. Noriega México, D. F.

Vázquez González, Alba B. y César Valdez, Enrique (1993). "Impacto Ambiental", *Facultad de Ingeniería, UNAM e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)*

CAPÍTULO 2
ESTRATEGIAS A SEGUIR EN PROYECTOS DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.



CAPÍTULO 2

ESTRATEGIAS A SEGUIR EN PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En general, un proyecto es la búsqueda de una solución a un problema tendiente a resolver, entre muchas, una necesidad humana. En todo proyecto se debe especificar un orden sistemático de los pasos a seguir para alcanzar los objetivos establecidos con los menores recursos posibles. De esta manera, el proyecto de un sistema de tratamiento de aguas residuales consta de las etapas siguientes:

- Proyecto Básico o Anteproyecto.
- Proyecto Ejecutivo.
- Proyecto de Obra.

Cada etapa tiene actividades específicas por cumplir en función de las características de la agua residual por tratar y de las dificultades particulares del problema por resolver. En la Figura 2.1 se presenta el diagrama de flujo de los pasos de un proyecto de tratamiento de aguas residuales.

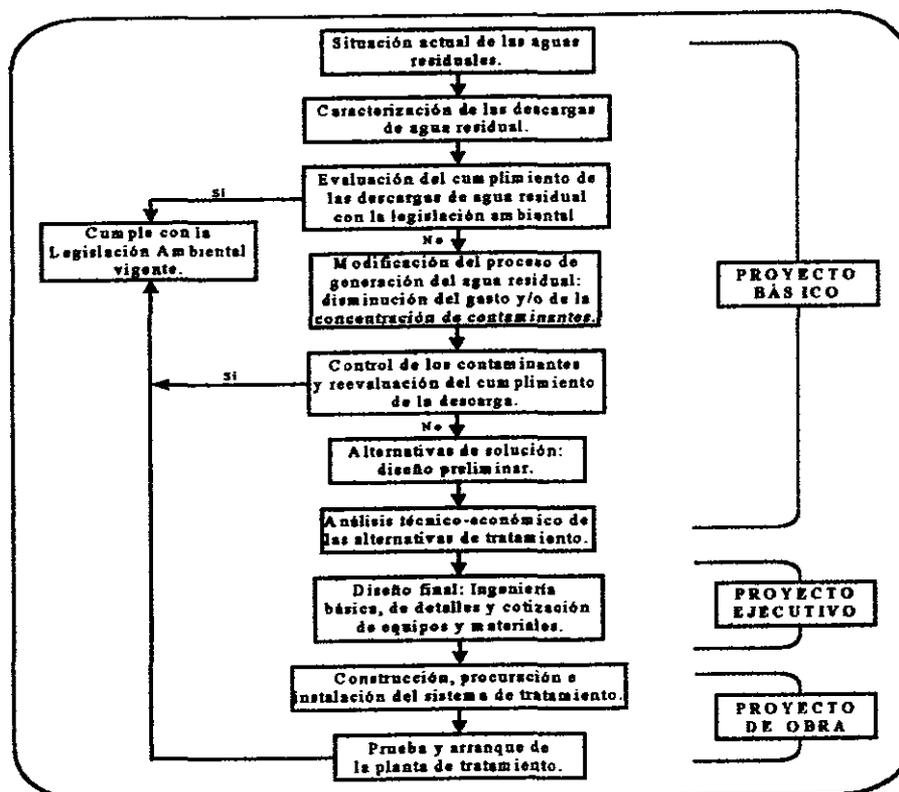


Figura 2.1 Diagrama de flujo de las etapas de un proyecto de tratamiento de aguas residuales.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO BÁSICO.

En esta etapa se analiza la información y se definen los estudios que se deben realizar con objeto de identificar y delimitar el problema para poder proponer alternativas de solución. Los puntos que se deben establecer comprenden:

- Definir el problema y establecer los objetivos del proyecto.
- Recopilar información.
- Establecer puntos de aforo y muestreo para estudiar las corrientes.
- Aforo, muestreo y caracterización de las descargas de aguas residuales.
- Reporte y análisis de los resultados obtenidos.
- Evaluación del cumplimiento de las descargas de agua residual conforme a la legislación.

Una vez establecidos los objetivos específicos del proyecto, el nivel de tratamiento se determina comparando la caracterización del agua residual con los parámetros impuestos por las autoridades competentes en materia ambiental. Como consecuencia, el programa de muestreo y la caracterización son la base para el diseño de todo proyecto de tratamiento de agua residual.

Es indispensable establecer *el periodo económico del proyecto* en función de las necesidades de la población o industria a la que servirá, de las expectativas de crecimiento del gasto de agua a tratar y de los estudios económicos, incluyendo costos de construcción, operación y capital inicial.

Después se desarrollan las alternativas de solución aplicables, que pueden consistir en: modificar el proceso de generación de las descargas, instalar sistemas de tratamiento en puntos específicos de generación de aguas residuales, reutilización del agua tratada y/o recuperación de insumos o subproductos, etc. Se debe tener en cuenta que el éxito de un proyecto depende en gran medida de la calidad de las ideas y acciones desarrolladas en la concepción del mismo.

Posteriormente se realizan, si es el caso, *las pruebas de tratabilidad*; es decir, los estudios basados en modelos físicos a escala que simulan procesos de tratamiento para determinar si las aguas residuales pueden ser eficientemente tratadas mediante el proceso simulado. En seguida se selecciona el tren de tratamiento, para lo cual la experiencia es fundamental.

2.1.1 VARIABLES A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO.

Generalmente la selección del tren de tratamiento se basa en la evaluación de diferentes combinaciones de procesos y operaciones unitarias, sus interacciones y el tratamiento de sus subproductos, como lodos y/o gases. Pero, ante la diversidad de procesos de tratamiento se recomienda establecer algunos parámetros de comparación que permitan seleccionar el sistema de depuración que mejor se adapte a los requerimientos particulares de cada proyecto. Los factores más relevantes que se deben tomar en cuenta en la selección se presentan en la Tabla 2.1.

Además, para el análisis de cada alternativa también se recomienda considerar otros parámetros como: localización, clima, hidrología, recursos económicos y humanos, disponibilidad de servicios (en caso de no contar con ellos, se debe preferir usar dispositivos que aprovechen la fuerza de gravedad) etc. De las alternativas propuestas, se deben separar aquellas que merecen un análisis técnico y económico detallado, incluyendo su correspondiente estudio de beneficio - costo.

Tabla 2.1 Parámetros de mayor importancia en la selección de los procesos de tratamiento.

PARÁMETRO	CONSIDERACIÓN
Objetivo del tratamiento	Los procesos deben satisfacer los objetivos planteados, siendo esenciales las especificaciones que estableció el cliente como son: facilidad de financiamiento, presupuesto asignado, preferencias por algún proceso, necesidades de reúso, subproductos, grado de automatización, etc. Además, deben cumplir los requerimientos impuestos por las instituciones que controlan las descargas residuales.
Eficiencia	El efluente debe cumplir con la calidad exigida para su vertido con los menores recursos posibles.
Economía	Es importante evaluar si se cuenta con recursos suficientes para construir, operar y dar mantenimiento a un determinado proceso de tratamiento y analizar la relación costo - eficiencia.
Requerimientos de operación y mantenimiento	Definir los requerimientos y problemas que implica la operación y el mantenimiento de los sistemas, con base en experiencias previas, considerando: necesidades energéticas, de productos químicos y servicios auxiliares; disponibilidad de los equipos; número y especialización de los operadores, etc.
Impacto ambiental	Las implicaciones ambientales pueden restringir la aplicación de algunos procesos, por lo que se recomienda revisar el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental, en el Art. 5 del Capítulo I, donde se establecen los proyectos que requieren autorización previa de las autoridades; y el Capítulo II, donde se presenta el procedimiento de evaluación del impacto ambiental (Manifestación de Impacto Ambiental).
Intervalo de caudal, características del agua residual y sus variaciones	Los procesos de tratamiento deben corresponder con el intervalo de caudal esperado y con las características del agua a tratar. Además, debe ser compatible con las variaciones de caudal y carga contaminante, sin dejar de producir un efluente con calidad dentro de los límites permitidos.
Terreno disponible	Contar con el espacio que requiere el proceso o la operación, ya que puede ser una limitante.
Subproductos del tratamiento	Conocer y estimar los tipos, cantidades y características de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos, para establecer si el tratamiento es viable.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy. Vol 1 1996.

2.1.2 CONCEPTOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO.

Un análisis o estudio económico es una comparación entre alternativas, en la cual, dentro de lo posible, las diferencias entre ellas se expresan en términos monetarios (Grant, 1989). Este estudio es de gran importancia, ya que en la práctica de la ingeniería se presentan varios cursos de acción con diferentes montos de inversión, ingresos y egresos para solucionar un problema; por lo que con este análisis se pueden definir cuál de las alternativas de solución es la mejor. El estudio económico de cada alternativa debe contener los siguientes puntos:

1. Estudio Técnico. Su objetivo es definir la localización, demostrar la viabilidad de la alternativa y englobar los requerimientos tecnológicos, de personal, instalaciones e insumos para contar con información suficiente que permita concentrar los conceptos que requiere.
2. Estudio Financiero. Contiene el análisis del flujo de capital referente a la inversión, financiamiento y los costos de operación y mantenimiento.
3. Análisis de Sensibilidad. Debido a que siempre existe incertidumbre respecto al futuro, se debe analizar el cambio en el pronóstico de algunos elementos del estudio económico y la forma en que afecta el desarrollo de la alternativa.

El análisis económico de una planta de tratamiento se realiza desde el punto de vista del interés nacional o regional, considerando al proceso de planeación como un instrumento para mejorar la asignación y uso de los recursos, y para valorar los impactos del proyecto en el entorno social.

A partir del análisis de cada alternativa se hace la evaluación económica. Los métodos que dan una base firme para la comparación final entre las diversas soluciones propuestas son: período de recuperación, valor presente neto, tasa interna de retorno y la relación costo-beneficio. El papel

que desempeña la evaluación económica en el 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.

2.1.3 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Para el estudio económico de cualquier alternativa de tratamiento se requiere estimar el monto de inversión y los costos de operación involucrados, de forma que se pueda definir la fuente de financiamiento, el tiempo de ejecución y las medidas de control de costos. Dependiendo de la etapa del análisis y de la cantidad y calidad de la información disponible, la estimación de costos podrá realizarse con los siguientes grados de detalle (Castellanos Rosas, 1997):

a) Estimado de orden de magnitud. Se requiere conocer el gasto preliminar que manejará la planta, y a partir de éste se hace la estimación al contar con los costos de una planta de tratamiento similar, ajustando el monto en base a la relación costo-capacidad. Debido a que la estimación se obtiene a partir de precios anteriores es necesario emplear índices correctivos por la inflación para ajustar los datos a un estado actual o futuro. El grado de precisión es de $\pm 40\%$.

b) Estimado por factores. Implica la preselección de tecnología y la integración de un catálogo de precios del equipo básico del tren de tratamiento. Estos precios se suman y multiplica por un factor para obtener el costo general de la planta. Uno de los factores más utilizados es el de Lang, el cual depende de la relación que existe entre el costo del equipo y el costo de su instalación. En la Tabla 2.2 se presentan los factores de Lang para diversas instalaciones de tratamiento. La precisión alcanzada es de $\pm 30\%$.

Tabla 2.2 Factores de Lang para la estimación de costos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

TIPOS DE INSTALACIONES	FACTOR
Equipos de tratamiento simple como: filtros, centrifugas, tanques, fosas, instrumentación mínima, tubería.	1.5 - 2.5
Equipo de tratamiento de complejidad media, incluyendo: sedimentadores, espesadores, filtros, tanques, floculadores, aereadores, instrumentación, tuberías y edificios.	3.0
Instalaciones de tratamiento de tipo química, sistemas de varias etapas, componentes importantes de bombas y tuberías, instrumentación compleja, edificios significativos.	4.0 - 5.0
Unidades de tratamiento especiales, etapas de desarrollo, tecnología de tratamiento compleja, instrumentación compleja.	6.0

Fuente: Kano y Muñoz (1991).

c) Estimado preliminar. Se requiere contar con información suficiente de proveedores para determinar el costo de las instalaciones de tratamiento. Los estimados de este tipo se usan como referencia en el estudio de factibilidad del proyecto y, si es favorable, se emplean para la aprobación de fondos de ejecución. La precisión que se logra es de $\pm 20\%$.

d) Estimado definitivo. Este estimado sirve para el control de costos en sus diversas fases y para realizarlo se requiere tener la aprobación para efectuar el proyecto de tratamiento, definición de la ubicación del sistema y terminación de la ingeniería básica. La precisión que alcanza es de $\pm 10\%$.

e) Estimado detallado. Se prepara cuando la ingeniería de detalle está terminada, implicando un conocimiento total de los equipos, materiales y servicios auxiliares requeridos. Este estimado sirve para controlar los costos en la fase de construcción. La precisión que puede alcanzar es de $\pm 5\%$.

2.1.4 COSTOS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN DE TRENES DE TRATAMIENTO.

Los costos del tratamiento varían en función de la calidad del agua; el tren de tratamiento; localización geográfica y condiciones físicas del sitio; costos locales de mano de obra, materiales, terreno y energía; limitación de espacio; así como de factores legales.

Los costos a considerar en la evaluación de las alternativas de tratamiento se dividen en costos de inversión inicial y costos de operación y mantenimiento, los cuales incluyen:

a) Costos de inversión inicial. Consideran inversión fija y diferida:

1. Inversión inicial fija de capital como:

⇒ Costo del terreno.

⇒ Obra civil. Incluye: las estructuras para el proceso de tratamiento, almacén, oficinas administrativas, subestación eléctrica, laboratorio, talleres de mantenimiento, soportes, plataformas, escaleras, rampas, caminos de acceso y las preparaciones para la instalación de los servicios de agua potable, drenaje, teléfono, alumbrado, gas y especiales.

⇒ Obra eléctrica. Incluye: el equipo eléctrico como interruptores, motores, ductos, alambres, juntas, alimentadores, aterrizado, alambrado, paneles de control; así como su instalación.

⇒ Obra mecánica y de tubería. Incluye: tubería, soportería, juntas, válvulas y recubrimiento.

⇒ Equipo. Incluye: los equipos listados en el diagrama de flujo del proceso de tratamiento.

⇒ Instrumentación. Incluye: instrumentos y sistemas considerados para controlar y/o dar seguimiento a la operación de la planta, de acuerdo a la filosofía de operación.

2. Inversión inicial diferida como:

⇒ Ingeniería y supervisión. Incluye: estudios, diseño, planos, modelos a escala, consultas, viáticos, estudios de optimización del proceso de tratamiento, tecnología de licenciador, etc.

⇒ Gastos de construcción. Incluye: supervisión de la construcción, vigilancia, servicio médico, permisos, pruebas de campo y laboratorio, licencias especiales, impuestos, seguros e intereses.

⇒ Permisos, asistencia técnica, gastos preoperativos, instalación y puesta en marcha, servicios notariales, capacitación del personal, contratos de servicios de luz, teléfono, agua, etc.

b) Costos de operación y mantenimiento. Se divide en:

1. Costos directos de operación como:

⇒ Insumos. Incluye los productos químicos, combustible, detergentes, etc., para el tratamiento del agua residual, considerando fletes, almacenamiento y manejo.

⇒ Mano de obra directa. Personal necesario para operar la planta de tratamiento incluyendo personal de supervisión, laboratorio, oficina, etc.

⇒ Mantenimiento. Incluye: personal, refacciones, productos químicos, electricidad, combustibles, transporte, renta, reemplazos, etc.

⇒ Servicios. Incluye: electricidad, agua, gas, vapor, manejo de residuos, etc.

⇒ Patentes y pago de derechos o regalías.

2. Costos indirectos de operación como:

- ⇒ Cargos por depreciación y amortización.
- ⇒ Costos financieros. Intereses de los capitales obtenidos por préstamo.
- ⇒ Costos de administración. Provenientes de realizar las funciones administrativas de la planta de tratamiento.

El cálculo e integración de los precios debe considerar: los costos de mano de obra, materiales y demás insumos en el lugar de adquisición; el cargo por maquinaria y equipo de construcción determinado con base en el precio y rendimiento de éstos y acorde con las condiciones de ejecución del concepto de trabajo; el monto del costo indirecto incluyendo los cargos por instalaciones, servicios, sueldos y prestaciones del personal técnico y administrativo, y demás cargos de naturaleza análoga; y el costo por financiamiento tomando en cuenta anticipos y fianzas.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO.

El *proyecto ejecutivo* consiste en las actividades requeridas para diseñar los componentes involucrados en la construcción y/o rehabilitación de una planta de tratamiento, enmarcando sus características y especificaciones en: planos, diagramas, esquemas, tablas, figuras y fotografías, que permitan una mejor comprensión el trabajo por hacer. Las etapas del proyecto ejecutivo son :

- Ingeniería Básica.
- Ingeniería de Detalle.
- Cotización de equipos y materiales.

A continuación se describe cada uno de estos componentes.

2.2.1 INGENIERÍA BÁSICA .

En la *ingeniería básica* se determina el arreglo general del sistema, se definen las dimensiones y se establecen las especificaciones y documentos necesarios para el diseño de los componentes que se requieren en la construcción y/o rehabilitación de una planta de tratamiento. Para diseñar un sistema operable, seguro y controlable, en la ingeniería básica se definen los siguientes puntos:

- a) Bases de diseño.
- b) Criterios de diseño.
- c) Descripción del proceso de tratamiento.
- d) Memoria de cálculo del proceso de tratamiento.
- e) Diagrama de flujo del proceso de tratamiento.
- f) Lista de equipos principales del tratamiento.
- g) Hojas de datos de equipos principales del tratamiento.
- h) Arreglo general de la planta de tratamiento.
- i) Diagramas de tubería e instrumentación.
- j) Requerimiento de servicios e insumos.
- k) Diseño hidráulico (Perfil hidráulico).
- l) Filosofía básica de operación.

a) Bases de diseño. Aquí se fijan los lineamientos de diseño de la planta de tratamiento, considerando las especificaciones planteadas por el cliente en relación a los siguientes puntos:

- Generalidades sobre la planta de tratamiento (ubicación, información de referencia, planos, condiciones climatológicas, etc.)
- Vida útil de las instalaciones (normalmente como mínimo 20 años para los equipos y de 30 a 40 años para las estructuras).
- Gasto y caracterización del agua residual a tratar.
- Calidad exigida al efluente de la planta de tratamiento para reutilización y/o descarga final.
- Flexibilidad de operación y grado de automatización requerida.
- Manejo de subproductos.
- Planos del terreno disponible para la construcción.
- Alcances y programa de trabajo, incluyendo fecha de inicio y terminación del proyecto.
- Instalaciones requeridas para almacenamiento de productos químicos y servicios auxiliares.
- Sistemas de seguridad.

b) Criterios de diseño. Este documento tiene como finalidad establecer los criterios a considerar en el diseño de las estructuras, instalaciones y equipos, por lo que es necesario definir:

- Normas, códigos y especificaciones de diseño, así como los factores de seguridad.
- Modulación del diseño de acuerdo a las expectativas de crecimiento del gasto.
- Factores de sobrediseño y criterios para absorber cambios de cantidad y calidad del agua residual alimentada a la planta de tratamiento.

c) Descripción del proceso de tratamiento. En este documento se establecen las características fundamentales del tren de tratamiento, incluyendo gastos y caracterización del agua residual influente y efluente de cada etapa de tratamiento; así como adición de reactivos y recirculación de gastos. Se recomienda que para facilitar el diseño del proceso de tratamiento y la elaboración de los diagramas de flujo, primero se realice la descripción completa del mismo.

d) Memoria de cálculo del proceso. Consiste en diseñar cada una de las operaciones y procesos unitarios empleados en el tratamiento del agua residual, analizando: el gasto, el balance de materia y energía, y las eficiencias de remoción de cada uno de los parámetros considerados.

e) Diagrama de flujo del proceso de tratamiento. Se elaboran los diagramas de todos y cada uno de los equipos que integran el sistema de tratamiento mostrando: los equipos involucrados y su interrelación con otros; sus dimensiones, características y condiciones de operación; las corrientes del proceso y un resumen del balance de materia y energía.

f) Lista de equipos principales del tratamiento. Este documento contiene el listado de los equipos que intervienen en el proceso de tratamiento, presentando sus claves, dimensiones y requerimientos de servicios auxiliares.

g) Hojas de datos de equipos principales del tratamiento. Deben contener los datos necesarios para el diseño y/o especificación de los diversos equipos del tratamiento como: gasto, condiciones de entrada y salida, propiedades del agua residual, materiales de construcción, consideraciones de diseño y dibujos esquemáticos.

h) Arreglo general de la planta de tratamiento. La distribución de las estructuras y del equipo de tratamiento en el terreno se realiza tomando en consideración los aspectos operacionales, de mantenimiento, seguridad y económicos; de manera que los costos de construcción, operación, planeación futura y expansión sean minimizados. Para lograr esto, el sitio elegido debe ser de fácil acceso para la construcción e instalación de los equipos de tratamiento, y debe contar con los servicios requeridos para realizar las menores obras de adecuación y acondicionamiento a fin de disminuir el costo de inversión.

El resultado de este trabajo es el plano de arreglo general o plano maestro del conjunto de la planta, el cual involucra: la localización de cada unidad de tratamiento, edificios y equipos, junto con sus dimensiones preliminares y características principales. Además, debe mostrar la soportería de tuberías, áreas de mantenimiento, cuartos de control, accesos y los límites del área requerida.

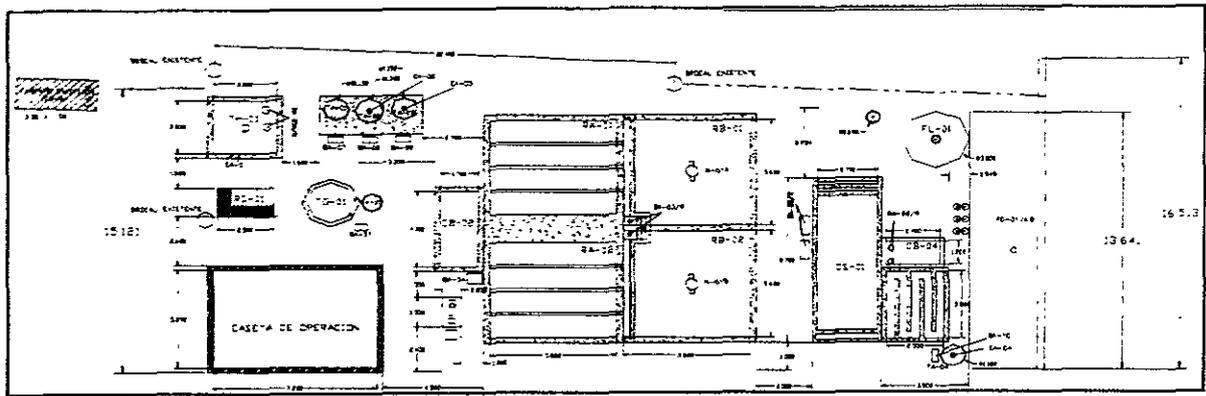


Figura 2.2 Arreglo general de una planta de tratamiento.

i) Diagramas de tuberías e instrumentación. Estos diagramas contienen el arreglo de todos y cada uno de los instrumentos y sistemas de tuberías, incluyendo: válvulas, líneas de servicios auxiliares, simbología y normas necesarias para la interpretación correcta de los diagramas, y las características hidráulicas más representativas.

j) Requerimiento de servicios e insumos. Aquí se deben establecer las características de los servicios auxiliares y de los productos químicos necesarios para el sistema de tratamiento. Los productos químicos más utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales se mencionan en el Anexo C. Los principales servicios requeridos son: abastecimiento de agua (incluyendo tomas contra incendio), drenaje, vapor, combustible, teléfono y energía eléctrica. Además, la planta debe contar con un laboratorio diseñado y equipado para realizar la medición y análisis de los parámetros requeridos en el control del proceso de tratamiento empleado.

k) Diseño hidráulico. Consiste en el análisis hidráulico de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento y en la elaboración del perfil hidráulico del agua residual, de los sólidos y, en su caso, de los reactivos empleados.

l) Filosofía básica de operación del sistema de tratamiento. Este documento describe el comportamiento de la planta y de cada una de las unidades de tratamiento, definiendo los lineamientos para su adecuada operación en situaciones normales y especiales; describiendo el efecto de las variables de operación del tratamiento; indicando los controles básicos del proceso

para mantener los valores de estas variables en los rangos establecidos; y mencionando las condiciones en las que se puede presentar una operación fuera de lo normal.

2.2.2 INGENIERÍA DE DETALLE.

Al terminar la *ingeniería básica* se comienza la *ingeniería de detalle*, en donde se especifican y elaboran los planos de las unidades involucradas en la construcción y/o rehabilitación de un planta de tratamiento, los cuales se van ajustando con la información proporcionada por fabricantes y proveedores. También incluye los manuales de operación y mantenimiento, ya que son necesarios para la construcción, arranque y operación de la planta. La ingeniería de detalle consta de:

- a) Proyecto arquitectónico y de conjunto.
- b) Estudios geotécnicos.
- c) Diseño estructural.
- d) Proyecto mecánico.
- e) Diseño de tuberías.
- f) Proyecto eléctrico.
- g) Ingeniería de instrumentación.
- h) Manuales, instructivos y recomendaciones.

A continuación se describen las actividades a realizar en cada área:

a) Proyecto arquitectónico y de conjunto. Aquí se realiza el proyecto arquitectónico de acuerdo al Reglamento de Construcción definido. En él se conjugan todos los elementos que intervienen en forma integral y funcional en la planta de tratamiento, considerando las condiciones del terreno, los requerimientos del proceso y la integración arquitectónica de vialidades, banquetas, alumbrado, cerca perimetral, etc. Los planos que se realizan incluyen la información siguiente:

- *Plano arquitectónico.* Es un plano de conjunto en donde se muestran plantas, cortes, fachadas, azotea, niveles interiores, croquis de conjunto, cotas, etc.
- *Plano de acabados exteriores e interiores.* En un plano de conjunto se plasman los acabados interiores y exteriores, especificando simbología de banquetas, pavimentos, guarniciones, áreas verdes, cercas, fachadas, herrería, carpintería, etc., indicando marca e incluyendo catálogos de materiales y cantidades de obra.
- *Plano de instalaciones hidrosanitarias.* En un plano de conjunto se muestra el proyecto de alcantarillado sanitario y pluvial, red de agua potable, cisterna, fosa séptica, pozo de absorción, registros y bajadas de agua; así como detalles específicos y lista de materiales.
- *Plano de Instalación eléctrica.* Muestra plantas y elevaciones del arreglo en conjunto de la iluminación exterior e interior, detalles de trincheras, registros, etc.

b) Estudios geotécnicos. Consisten en trabajos de campo, laboratorio y gabinete para conocer las características del subsuelo que se necesitan para desplantar las estructuras de la planta de tratamiento; así como las condiciones superficiales como topografía, vías de acceso, tenencia de la tierra, cuerpos de agua superficial y subterránea, etc.

c) Diseño estructural. Con apoyo del proyecto arquitectónico e hidráulico, y del estudio geotécnico, se realiza el diseño estructural de las unidades de tratamiento, edificios, caseta de

control del proceso, caseta de vigilancia, accesos, pasillos, escaleras, soportes y cimentaciones de equipos, de acuerdo a los reglamentos y lineamientos técnicos que se señalen. Los documentos que genera esta disciplina son: memoria de cálculo, planos estructurales y catálogo de conceptos con cantidad de materiales.

Los planos estructurales muestran los armados, detalles y juntas en plantas, elevaciones, cortes y secciones acotadas. Los datos que deben contener son: nombre y fecha de publicación del reglamento empleado; cargas y coeficiente sísmico utilizados en el diseño, capacidad de carga del terreno, especificación de los materiales (acero, concreto, etc.), longitud y localización de anclajes y traslapes del acero de refuerzo, soldaduras y conexiones.

d) Proyecto mecánico. En función del tren de tratamiento se seleccionan los equipos que requiere cada unidad del proceso, describiendo: potencias, tipos de motores eléctricos, cargas de diseño, condiciones de operación y detalles de las partes interiores de los equipos. Además, se desarrollarán las especificaciones de construcción (soportes, cimentaciones, entradas y salidas de los equipos, uniones entre los equipos y las líneas de proceso) y de requisición de equipos.

e) Diseño de tuberías. Para su diseño se utilizan los diagramas de tuberías generados en la ingeniería básica, buscando determinar la ruta más adecuada para el tendido de tuberías, evitando interferencias con otras líneas, áreas de trabajo, cimentaciones o acero de refuerzo, y dando preferencia a las líneas más costosas y de gran diámetro. Después se elabora el plano de tuberías, se realiza el diseño hidráulico y se trazan los isométricos de cada línea, indicando: materiales, válvulas, conexiones, accesorios, soportes y anclas. También se debe anexar un índice de las líneas de conducción y especificar la prueba de tubería.

f) Proyecto eléctrico. Esta disciplina elabora los planos eléctricos que contienen el proyecto de iluminación exterior e interior, diagramas de flujo unifilar, diagrama del equipo eléctrico y sus interconexiones, cuadros de distribución, balanceo de cargas, acometida de energía eléctrica, transformadores, subestación eléctrica, arreglo del cuarto de control, mecanismos de control, planta de emergencia, sistemas de tierra, detalles, símbolos, lista de material eléctrico y motores, y sus respectivas especificaciones.

g) Ingeniería de instrumentación. En esta etapa se preparan las especificaciones y diagramas de los instrumentos a utilizar en el sistema de tratamiento, y se revisan los dibujos de taller y las hojas informativas proporcionadas por proveedores. Los documentos que se elaboran son:

- Plano de arreglo general, indicando la localización de cada uno de los instrumentos.
- *Índice de instrumentos.* Muestra las características y ubicación de todos los instrumentos.
- *Diagramas de instrumentación.* Presenta los elementos que forman los circuitos, la forma en que éstos se enlazan, su ubicación y los suministros que requieren (eléctrico, aire, vapor, etc.).
- *Hojas de especificación de instrumentos.* Contienen la información necesaria para hacer la requisición de cada instrumento e indican con esquemas su instalación y montaje en campo.
- *Bases de diseño del tablero principal de control.* Indica las dimensiones del cuarto de control y la información necesaria para seleccionar los sistemas de alimentación, define el número de secciones requeridas por el tablero principal y los tableros locales de control; así como su configuración. Además, incluye los dibujos detallados del tablero de control.

h) Manuales, instructivos y recomendaciones. Con la información generada y el apoyo de las diversas disciplinas de ingeniería y proveedores de equipos, se elaboran los manuales, instructivos y recomendaciones del sistema de tratamiento. Se sugiere que el manual de operación y mantenimiento esté integrado por los siguientes capítulos:

- I. Descripción del proceso de tratamiento.
- II. Control de la operación del proceso.
- III. Sistemas auxiliares de la planta.
- IV. Planta eléctrica y centro de control de motores.
- V. Arranque y puesta en marcha.
- VI. Mantenimiento de la planta.
- VII. Programa de respuesta y operación de emergencia.
- VIII. Seguridad.

Se recomienda que el manual de capacitación técnica de operadores de la planta esté formado por:

- a) Control de procesos en el laboratorio.
 - I. Técnicas de muestreo y análisis de campo.
 - II. Análisis de agua residual y de agua tratada.
 - III. Pruebas de tratabilidad.
- b) Control de procesos de tratamiento.
 - I. Descripción del proceso y su operación.
 - II. Diagramas de flujo.
 - III. Balance hidráulico de caudales.

2.2.3. COTIZACIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES.

La cotización consiste en investigar el precio de cada una de las partidas de materiales y equipos que se requieren en la planta de tratamiento para seleccionar el que cumpla con las especificaciones establecidas al menor costo y que su entrega sea dentro de los tiempos especificados en el programa de obra. Esta etapa se divide en las siguientes fases:

- Elaboración de requisiciones y solicitud de cotización: petición formal de precios de materiales y/o equipos (mínimo de tres proveedores).
- Cotización: respuesta a la solicitud. Incluye condición de compra, descuento y fecha de entrega.
- Comparación de ofertas: estudio objetivo de las cotizaciones (análisis técnico-económico).

Posteriormente se recomienda elaborar hojas de resumen de los equipos e instrumentos solicitados en donde se incluyan: características físicas y técnicas, especificaciones de operación y montaje, planos certificados, memoria de calculo, vida útil, mantenimiento, suministros no incluidos y refacciones y herramientas recomendadas por el proveedor.

2.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR PROYECTOS EJECUTIVOS.

Los aspectos genéricos de las actividades y trabajos necesarios para desarrollar el *proyecto ejecutivo* de un sistemas de tratamiento de agua residual se describen a continuación.

2.3.1 PRE-REQUISITOS.

Se recomienda que las condiciones previas a la elaboración de un proyecto ejecutivo sean:

1. Solicitud del cliente detallando los objetivos del proyecto de tratamiento de agua que requiere
2. Propuesta técnica y económica de la empresa, incluyendo alcances, programa de actividades y consideraciones particulares.
3. Orden de trabajo dada por el cliente aceptando la propuesta técnica y económica, y el contrato.
4. Asignación del personal encargado de desarrollar el proyecto.

2.3.2 INICIO DEL PROYECTO EJECUTIVO.

El *proyecto ejecutivo* de un sistema de tratamiento de agua residual inicia con *una junta de alineación y arranque de proyecto*, en donde se definen las políticas de trabajo de cada una de las disciplinas de ingeniería que intervienen. Además, el *responsable del proyecto* acuerda con el cliente los alcances técnicos y económicos, y las acciones programadas para el desarrollo de la obra, cuidando la calidad del proyecto y estableciendo las medidas de prevención y mitigación de riesgos que pudieran presentarse durante su ejecución. Después, se define el tipo de proyecto, considerando los siguientes casos:

- a) Instalación nueva: diseño, construcción y operación de una planta de tratamiento.
- b) Instalación existente: rehabilitación y/o ampliación de una planta de tratamiento.

Para facilitar la descripción, en este texto se explican las actividades incluidas en el desarrollo de un proyecto de instalación nueva y se hacen las observaciones correspondientes en aquellas etapas en donde sea necesario mencionar los trabajos adicionales por tratarse de una instalación existente.

Posteriormente, el *responsable* del proyecto da al *área de ingeniería* la información técnica proporcionada por el cliente y el *programa de ejecución*. El *área de ingeniería* revisa los documentos existentes y recopila la información técnica necesaria para el diseño del *sistema de tratamiento de agua residual* (bases de diseño). En esta etapa se recomienda realizar una visita al sitio de construcción del proyecto para complementar la información que se tiene y conocer las características del terreno y actividades de la zona como:

- Costos de mano de obra, materiales, equipos, fletes y acarreo.
- Ubicación de bancos de materiales.
- Normatividad vigente.
- Padrón de contratistas y proveedores.
- Localización de sitios para depositar los desechos de la construcción y operación de la planta.

Con la información recopilada, el *área de ingeniería* realiza la planeación de las actividades y responsabilidades del personal técnico de las diversas disciplinas que participan en el proyecto.

En función de los recursos disponibles y del objetivo de la empresa se pueden presentar dos cursos de acción para su ejecución:

- a) Subcontratación total o parcial del proyecto de tratamiento de agua residual.
- b) La empresa elabora totalmente el proyecto de la planta de tratamiento con recursos propios.

La secuencia de actividades para iniciar un proyecto de tratamiento se observa en la Figura 2.3.

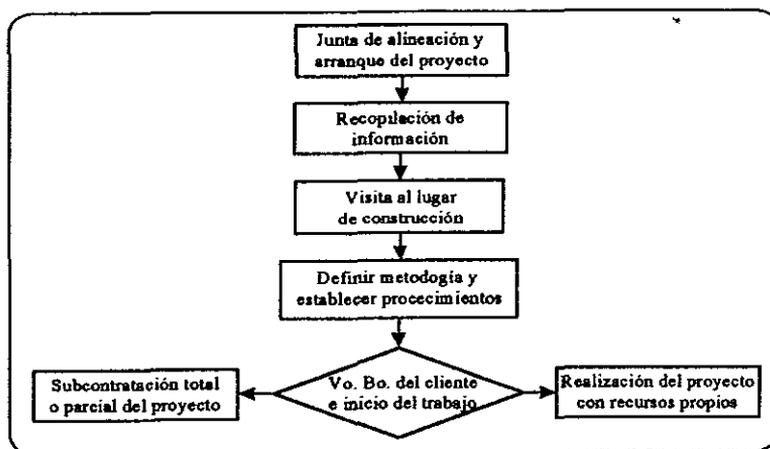


Figura 2.3 Secuencia de inicio de actividades de un Proyecto Ejecutivo.

2.3.3 SUBCONTRATACIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PROYECTO.

Cuando se subcontrata total o parcialmente el proyecto de una planta de tratamiento de agua residual con la supervisión de la empresa, existe una relación estrecha entre las *áreas de ingeniería y subcontratos*, y el *subcontratista*. En estos casos, las actividades que realiza cada una se basa en sus funciones específicas y son: (Ver Figura 2.4).

1. Elaboración de términos de referencia. Se define la secuencia y etapas necesarias para hacer un proyecto de éste tipo, indicando la metodología y los procedimientos que deben aplicarse, las características y especificaciones de la obra y el lapso de tiempo en que debe realizarse, haciendo mención de la entrega de reportes parciales de avance. Los términos de referencia elaborados por el *área de ingeniería* forman la parte técnica de las *bases de concurso*.

2. Selección del Contratista. El *encargado de los subcontratos* integra la información e invita a los *subcontratistas* a presentar sus propuestas. Los *subcontratistas* presentan sus cotizaciones y propuestas técnicas y comerciales al *encargado de subcontratos* para que el *área de ingeniería* las analice técnicamente y emita la evaluación con los comentarios y observaciones pertinentes. El *encargado de los Subcontratos* es el responsable de analizar, dictaminar y asignar el contrato al subcontratista seleccionada, e informar al *área de ingeniería* el dictamen para que inicie los trabajos de supervisión del proyecto.

3. Supervisión y seguimiento de la obra. En la etapa de diseño, el *área de ingeniería* supervisa:

3.1 En campo.

a) Levantamiento Topográfico. Cuando se realicen obras de rehabilitación y/o ampliación se debe incluir la localización de todas las unidades de tratamiento, equipos y edificios, así como las vialidades y servicios generales existentes en la planta.

b) Estudios de Mecánica de Suelos. Se sugiere que incluyan trabajos de campo, laboratorio y gabinete para conocer las características del subsuelo necesarias para desplantar las estructuras.

Para proyectos en instalaciones existentes, además se deben considerar las siguientes actividades:

- Estudios de las estructuras mediante calas y radiografía con fuentes de rayos X ó gamma para detectar los armados existentes en las unidades de tratamiento.

- Evaluación operativa de las unidades de tratamiento mediante muestreo y pruebas en laboratorio y/o “in situ”, comparando los resultados contra los datos de diseño.
- Pruebas con trazadores para detectar trayectorias, tiempos de retención, zonas muertas, canalizaciones y velocidades de flujo existentes en los trenes de tratamiento.

c) Supervisión de la fabricación en talleres de unidades de tratamiento y/o equipos, comparando diseño y especificaciones contra los planos elaborados en la etapa de *ingeniería de detalle*.

3.2 En gabinete

- a) Supervisión del desarrollo de la *ingeniería básica y de detalle del proyecto*.
- b) Supervisar la requisición de equipos, materiales y accesorios, conforme a la *ingeniería de detalle*.
- c) Supervisión de la adquisición de equipos, materiales, accesorios y unidades de tratamiento.
- d) Supervisar la elaboración y/o ajuste final de planos y documentos conforme a la información certificada de proveedores.

4) Supervisión de la construcción de la obra. Con apoyo de catálogos, memorias de cálculo de diseño, listas de materiales y planos aprobados por el contratista y certificados por los proveedores, se realiza en campo la supervisión y seguimiento de la construcción de la obra.

Concluida la obra, el *área de ingeniería* supervisa las pruebas hidrostáticas en tanques, líneas de conducción, válvulas y accesorios; así como la instalación y pruebas de arranque de los equipos electromecánicos conforme a los *manuals de operación y mantenimiento* aprobados.

5) Arranque y puesta en marcha. Antes de recibir oficialmente del *subcontratista* las instalaciones, se verifica el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua de los procesos de tratamiento que fueron requeridos por el cliente y considerados en el contrato, con apoyo de manuales de operación y proceso, y las especificaciones de proveedores.

Con los ajustes realizados durante el período de arranque y puesta en marcha, el *subcontratista* realiza las modificaciones a los manuales de operación.

6) Capacitación del personal. En este tipo de proyectos se requiere la capacitación del personal técnico y operativo de la planta, por lo que el *subcontratista* debe estructurar, con la supervisión de proveedores de equipos y del *área de ingeniería*, los siguientes cursos de capacitación:

- a) Técnicas de muestreo y análisis de laboratorio.
- b) Operación de plantas de tratamiento.
- c) Operación y mantenimiento de equipos electromecánicos.

7) Entrega de la obra. Concluida la construcción, el *subcontratista* entrega el *libro de proyecto*. Este documento debe contener la información técnica del *proyecto* y se recomienda al menos contenga una descripción general de la planta de tratamiento y de los procesos; la *ingeniería básica y de detalle*; los planos y dibujos de fabricantes y proveedores; los manuales de control de proceso, operación, mantenimiento, arranque y de los cursos de capacitación.

8) Cierre de Proyecto. Esta actividad debe realizarse considerando las siguientes etapas:

- a) El *responsable del proyecto* convoca al *subcontratista* a una junta de terminación de proyecto, en donde se revisa el cumplimiento total de los alcances establecidos. Una vez aclaradas las dudas

y consideradas las observaciones realizadas por las diferentes disciplinas de ingeniería, se asienta en minuta y en bitácora la terminación del mismo y se autoriza al *subcontratista* la entrega del *informe final*, conforme a lo establecido en el contrato. Después se entrega oficialmente una carta al *subcontratista* en donde se indique el cumplimiento de los alcances del proyecto, así como la aceptación total del contrato respectivo.

b) El cierre total del proyecto se hace una vez que el cliente acepta y aprueba los trabajos realizados y que el informe escrito cumple con los alcances establecidos.

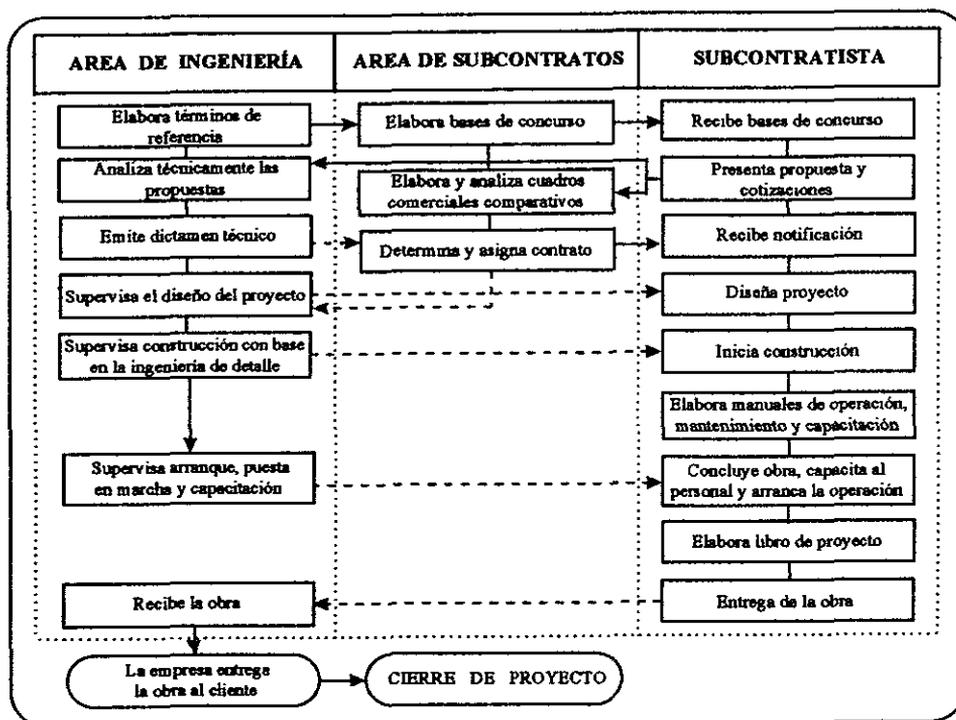


Figura 2.4 Secuencia típica de actividades para subcontratar un proyecto.

2.3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO CON RECURSOS DE LA EMPRESA.

Cuando el desarrollo del proyecto de una planta de tratamiento de agua residual lo realiza la empresa con recursos propios, la secuencia de actividades que deben llevar a cabo las diversas disciplinas del área de ingeniería, procuración y construcción, considerando los alcances técnicos y económicos aprobados por el cliente, son: (Ver Figura 2.5).

1) **Ingeniería Básica.** Una vez definido el sistema de tratamiento, el *área de ingeniería* desarrolla la *ingeniería básica* que considera el diseño de las unidades de proceso y elaboración de las especificaciones necesarias para realizar el diseño de los componentes que integran la planta.

2) **Ingeniería de Detalle.** Con la información generada en la *ingeniería básica*, el *área de ingeniería* diseña y realiza los planos y documentos necesarios para construir las instalaciones.

3) **Procuración.** Con los catálogos de conceptos y las cantidades y especificaciones de materiales, equipos y accesorios determinados en la *ingeniería de detalle*, el *área de procuración* realiza su compra y suministro en el sitio de construcción conforme a los tiempos del programa de trabajo.

4) **Elaboración de los manuales de operación, mantenimiento y capacitación.** Con la información generada en la *ingeniería de detalle* y con el apoyo de las disciplinas de ingeniería y de los proveedores de equipos, se elaboran los manuales de operación y mantenimiento.

5) **Construcción de la obra.** Con base en memorias de cálculo de diseño, listas de materiales y planos aprobados por el cliente y certificados por los proveedores, se construye la planta de tratamiento. Cuando la obra esté concluida, se realizan las pruebas hidrostáticas en tanques, líneas de conducción, válvulas y accesorios; así como la instalación y pruebas de arranque de los equipos electromecánicos, conforme a sus manuales de operación y mantenimiento.

6) **Arranque y puesta en marcha.** Antes de entregar oficialmente las instalaciones al cliente, se verifica la eficiencia y el cumplimiento de los parámetros específicos de calidad del agua en los efluentes del sistema de tratamiento. Con los ajustes realizados durante el período de arranque e inicio de operación del sistema, se realizan las modificaciones pertinentes a los manuales.

7) **Capacitación del personal.** Los proyectos de *sistemas de tratamiento de agua* requieren dar capacitación al personal técnico y operativo de la planta, por lo que debe estructurarse, con apoyo de proveedores y del *área de ingeniería*, los cursos de capacitación mencionados en 2.3.3

8) **Entrega de la obra** Concluidos los trabajos de construcción, arranque, puesta en marcha y capacitación del personal, se entregan al cliente las instalaciones junto con el *libro de proyecto*. Se recomienda que la entrega se realice en las siguientes etapas:

- a) Preliminar. Se entrega al cliente el *libro de proyecto* para su revisión y comentarios.
- b) Edición Final. Una vez consideradas las observaciones y recomendaciones realizadas por el cliente al informe preliminar, se procede a su corrección, impresión y entrega posterior.

9) **Cierre de proyecto.** El cierre total del proyecto se hace una vez que el cliente acepta y aprueba los trabajos realizados y que el informe escrito cumple con los alcances establecidos.

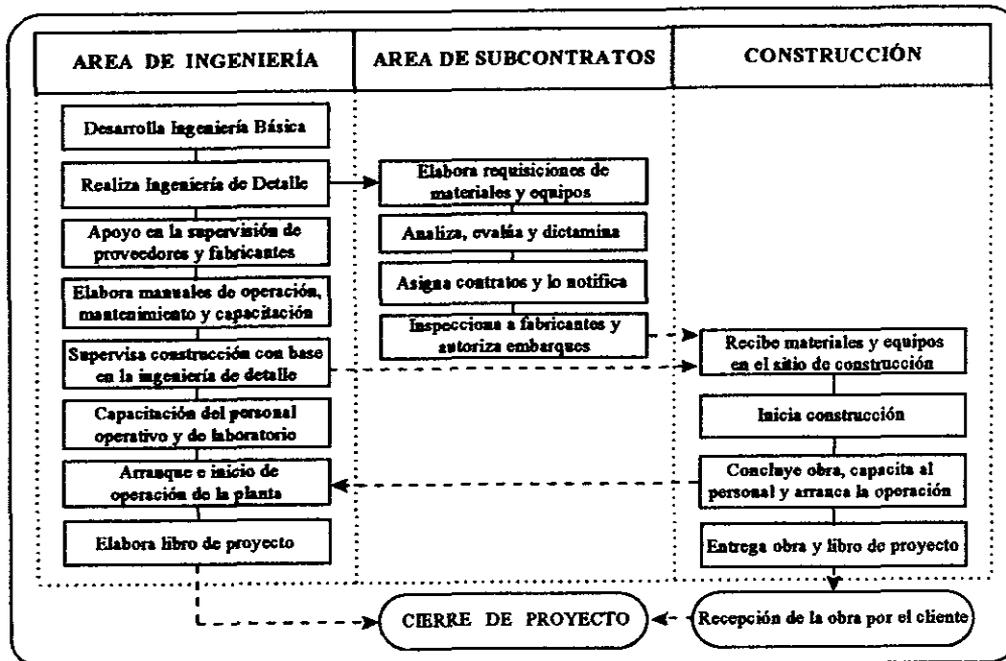


Figura 2.5 Secuencia típica de actividades para desarrollar un proyecto con recursos propios.

2.4 PLANEACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO.

2.4.1 PROGRAMAS DE ACTIVIDADES.

Para planear y organizar las actividades requeridas para ejecutar el proyecto de una planta de tratamiento de agua residual se recomienda elaborar programas de trabajo. Los más comunes son:

a) *Programa de fechas clave.* Tiene como objetivo establecer las fechas iniciales y finales de las principales etapas del proyecto. Para su elaboración, en primer lugar se determinan las fases del proyecto y posteriormente se definen las fechas de inicio y término, considerando la secuencia, las posibilidades de traslape y los factores adversos como: lluvia, plazos de fabricación y suministro, etc. En la Tabla 2.3 se muestra el programa de fechas clave de la Planta descrita en el Capítulo 7.

Tabla 2.3 Programa de fechas clave.

ETAPAS DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN [semanas]
Ingeniería básica	3 - Jun. - 96	16 - Ag. - 96	11
Ingeniería de detalle	2 - Sep. - 96	9 - Dic. - 96	15
Procuración de equipo	30 - Sep. - 96	15 - Feb. - 97	20
Construcción	4 - Nov. - 96	15 - Feb. - 97	15
Instalación	2 - Dic. - 96	29 - Mar. - 97	17
Pruebas y arranque	3 - Mar. - 97	14 - Jun. - 97	15

b) *Programa de actividades por disciplina.* Este programa desglosa las actividades que deben desarrollarse cada una de las disciplinas involucradas en el proyecto en función de los documentos y especificaciones que deben elaborarse. En la Tabla 2.4 se muestra el programa de la planta ejemplo.

Tabla 2.4 Programa de actividades por disciplina.

DISCIPLINA: INGENIERÍA DE PROCESO	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	DURACIÓN [SEMANA]	SEMANAS																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Memorias de Cálculo	2 -Sep-96	7-Oct-96	5																	
Diagramas o Planos	9 -Sep-96	21-Oct-96	7																	
Especificaciones	2 -Sep-96	23-Sep-96	4																	
Lista de todo el Equipo	17-Sep-96	21-Oct-96	5																	
DISCIPLINA: INGENIERÍA CIVIL	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	DURACIÓN [SEMANA]	SEMANAS																
Memorias de Cálculo	16 -Sep-96	25-Nov-96	10																	
Diagramas o Planos	30 -Sep-96	16-Dic-96	11																	
Especificaciones	14 Oct-96	25-Nov-96	6																	
Volumen de Obra y Lista de Materiales	28-Oct-96	16-Dic-96	7																	
DISCIPLINA: INGENIERÍA ELÉCTRICA	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	DURACIÓN [SEMANA]	SEMANAS																
Memorias de Cálculo	16 -Sep-96	18-Nov-96	9																	
Diagramas o Planos	14 -Oct-96	16-Dic-96	9																	
Especificaciones	28-Oct-96	9-Dic-96	6																	
Lista de Materiales	18-Nov-96	16-Dic-96	4																	
DISCIPLINA: INGENIERÍA INSTRUMENTACIÓN	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	DURACIÓN [SEMANA]	SEMANAS																
Memorias de Cálculo	14-Oct-96	4-Nov-96	3																	
Diagramas o Planos	28-Oct-96	25-Nov-96	4																	
Especificaciones	14-Oct-96	11-Nov-96	4																	
Lista de Instrumentos	4-Nov-96	25-Nov-96	3																	
DISCIPLINA: INGENIERÍA MECÁNICA Y TUBERÍA	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	DURACIÓN [SEMANA]	SEMANAS																
Memorias de Cálculo	30-Sep-96	25-Nov-96	8																	
Diagramas o Planos	7 -Oct-96	16-Dic-96	10																	
Especificaciones	21-Oct-96	9-Dic-96	7																	
Lista de Materiales	4-Nov-96	16-Dic-96	6																	

c) *Programa maestro.* Este programa abarca la ejecución completa del proyecto, desglosándolo a nivel de paquetes de trabajo, dependiendo del alcance del mismo. En la Tabla 2.5 se muestran las etapas del proyecto en paquetes de trabajo o en actividades de la planta tomada como ejemplo.

Tabla 2.5 Programa maestro de actividades.

ETAPA - INGENIERÍA BÁSICA	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN (semanas)
Diagrama de Flujo del Proceso	3 - Jun. - 96	15 - Jun. - 96	2
Balace de Materia y Energía	17 - Jun. - 96	1 - Jul. - 96	2
Descripción del Proceso	3 - Jun. - 96	6 - Jul. - 96	5
Lista de Equipo Principal	8 - Jul. - 96	20 - Jul. - 96	2
Diagrama de Servicios Auxiliares	22 - Jul. - 96	3 - Ag. - 96	2
Filosofía de Operación	15 - Jul. - 96	16 - Ag. - 96	5
ETAPA - INGENIERÍA DE DETALLE	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN (semanas)
Ingeniería Civil	16 - Sep. - 96	16 - Dic. - 96	13
Ingeniería Eléctrica	16 - Sep. - 96	16 - Dic. - 96	13
Ingeniería de Instrumentación	14 - Oct. - 96	25 - Nov. - 96	6
Ingeniería Mecánico - Tuberías	30 - Sep. - 96	16 - Dic. - 96	11
ETAPA - PROCURACIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN (semanas)
Requisición	30 - Sep. - 96	4 - Ene. - 97	14
Compra	4 - Nov. - 96	25 - Ene. - 97	12
Importación v/o fletes	2 - Dic. - 96	15 - Feb. - 97	11
ETAPA - CONSTRUCCIÓN	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN (semanas)
ESTRUCTURAS DEL PROCESO			
Trazo y Nivelación	4 - Nov. - 96	9 - Nov. - 96	1
Excavación y Armado	11 - Nov. - 96	7 - Dic. - 96	4
Cimbrado y colado	9 - Dic. - 96	8 - Feb. - 97	8
Acabados	20 - Ene. - 97	15 - Feb. - 97	4
Instalaciones	13 - Ene. - 97	15 - Feb. - 97	5
ESTRUCTURAS AUXILIARES			
Trazo y Nivelación	11 - Nov. - 96	16 - Nov. - 96	1
Excavación y Armado	18 - Nov. - 96	21 - Dic. - 96	5
Cimbrado y Colado	16 - Dic. - 96	18 - Ene. - 97	5
Acabados	20 - Ene. - 97	25 - Ene. - 97	1
Instalaciones	27 - Ene. - 97	8 - Feb. - 97	2
ETAPA - INSTALACIÓN	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN (semanas)
Tubería Hidráulica	2 - Dic. - 96	18 - Ene. - 97	7
Tubería de Aireación	20 - Ene. - 97	22 - Feb. - 97	3
Equipo	3 - Feb. - 97	15 - Mar. - 97	6
Electricidad e instrumentación	17 - Feb. - 97	29 - Mar. - 97	6
ETAPA - PRUEBAS Y ARRANQUE	FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	DURACIÓN (semanas)
Estructuras y tanques de almacenamiento	3 - Mar. - 97	22 - Mar. - 97	3
Tuberías	24 - Mar. - 97	12 - Abr. - 97	3
Equipo	7 - Abr. - 97	3 - Mv. - 97	4
Instrumentos	28 - Abr. - 97	17 - Mv. - 97	4
Arranque	7 - Abr. - 97	14 - Jun. - 97	10

2.4.2 ESTIMACIÓN DE HORAS - HOMBRE POR DISCIPLINA.

El personal requerido para la ejecución del diseño del proyecto se puede calcular de acuerdo al número de documentos a realizar por disciplina. Esta estimación se hace con base la experiencia de proyectos anteriores similares, de donde se obtiene el número de horas aproximadas que se requiere para realizar cada uno de los documentos y, multiplicándolo por el número de documentos, se encuentra el total de horas por invertir. En la Tabla 2.6 se muestra un valor promedio del número de horas-hombre que se requiere para elaborar un documento de cada

disciplina basado en la experiencia de proyecto de plantas de tratamiento. Por supuesto, este valor es aproximado, ya que puede variar en función del caudal o de la complejidad del tratamiento, por lo que se recomienda que sea revisado por un ingeniero con experiencia en el área.

Tabla 2.6 Estimación Horas - Hombre por disciplina.

Fecha de aplicación del control:							
DISCIPLINA : INGENIERÍA DE PROCESO	NÚMERO DE DOCUMENTOS	HORAS-HOMBRE POR DOCUMENTO	HORAS TOTALES	AVANCE ESTIMADO		AVANCE REAL	
				Hrs.	%	Hrs.	%
Planos	5	80	400				
Documentos	11	40	440				
Actividades	7	25	175				
TOTAL			1015				
DISCIPLINA : INGENIERÍA CIVIL	NÚMERO DE DOCUMENTOS	HORAS-HOMBRE POR DOCUMENTO	HORAS TOTALES	AVANCE ESTIMADO		AVANCE REAL	
				Hrs.	%	Hrs.	%
Planos	15	80	1200				
Documentos	7	50	350				
Actividades	3	35	105				
TOTAL			1655				
DISCIPLINA : INGENIERÍA ELÉCTRICA	NÚMERO DE DOCUMENTOS	HORAS-HOMBRE POR DOCUMENTO	HORAS TOTALES	AVANCE ESTIMADO		AVANCE REAL	
				Hrs.	%	Hrs.	%
Planos	10	70	700				
Documentos	5	40	200				
Actividades	3	20	60				
TOTAL			960				
DISCIPLINA : INGENIERÍA DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO DE DOCUMENTOS	HORAS-HOMBRE POR DOCUMENTO	HORAS TOTALES	AVANCE ESTIMADO		AVANCE REAL	
				Hrs.	%	Hrs.	%
Planos	5	40	200				
Documentos	9	30	270				
Actividades	3	10	30				
TOTAL			500				
DISCIPLINA : INGENIERÍA MECÁNICA - TUBERÍAS	NÚMERO DE DOCUMENTOS	HORAS-HOMBRE POR DOCUMENTO	HORAS TOTALES	AVANCE ESTIMADO		AVANCE REAL	
				Hrs.	%	Hrs.	%
Planos	8	80	640				
Documentos	5	40	200				
Actividades	4	40	160				
TOTAL			1000				

Fuente : Castellanos Rosas, 1997.

Con esta tabla se pueden identificar las actividades más importantes del proyecto, de acuerdo al número de horas - hombre necesarias para su ejecución y que, por lo tanto, requieren especial atención para saber si se cuenta con los recursos humanos, materiales e información disponible para cumplir con el programa de trabajo establecido. Además, este formato se puede emplear para comparar el avance propuesto con el avance real del proyecto, ya sea para seguimiento y control del programa de actividades o para estimaciones.

2.4.3 CONTROL DEL PROYECTO.

Para cumplir los objetivos del proyecto es necesario establecer estándares de control, es decir, puntos de referencia para comparar los resultados obtenidos con los propuestos, y con esto corroborar que el proyecto se esté ejecutando correctamente, o bien, determinar las desviaciones para establecer soluciones. Los principales puntos a cuidar durante la ejecución de un proyecto de

tratamiento de agua residual son: los recursos económicos, el tiempo y la calidad. Sus criterios de comparación se establecen a partir del programa de obra, del presupuesto asignado y de los reglamentos y normas considerados para el diseño.

2.4.4 ORGANIGRAMA.

El organigrama general del personal propuesto para realizar la planeación, diseño y supervisión del proyecto de una planta de tratamiento de agua residual se recomienda que esté formado por:

a) Responsable de proyecto. Responsable de la integración total del proyecto que incluye: evaluar cada decisión del proyecto y determinar como afecta a otras tareas; definir, revisar y controlar el programa de trabajo y el presupuesto; estar en contacto directo con el cliente; revisar los alcances establecidos; y coordinar las actividades técnico-administrativas del proyecto.

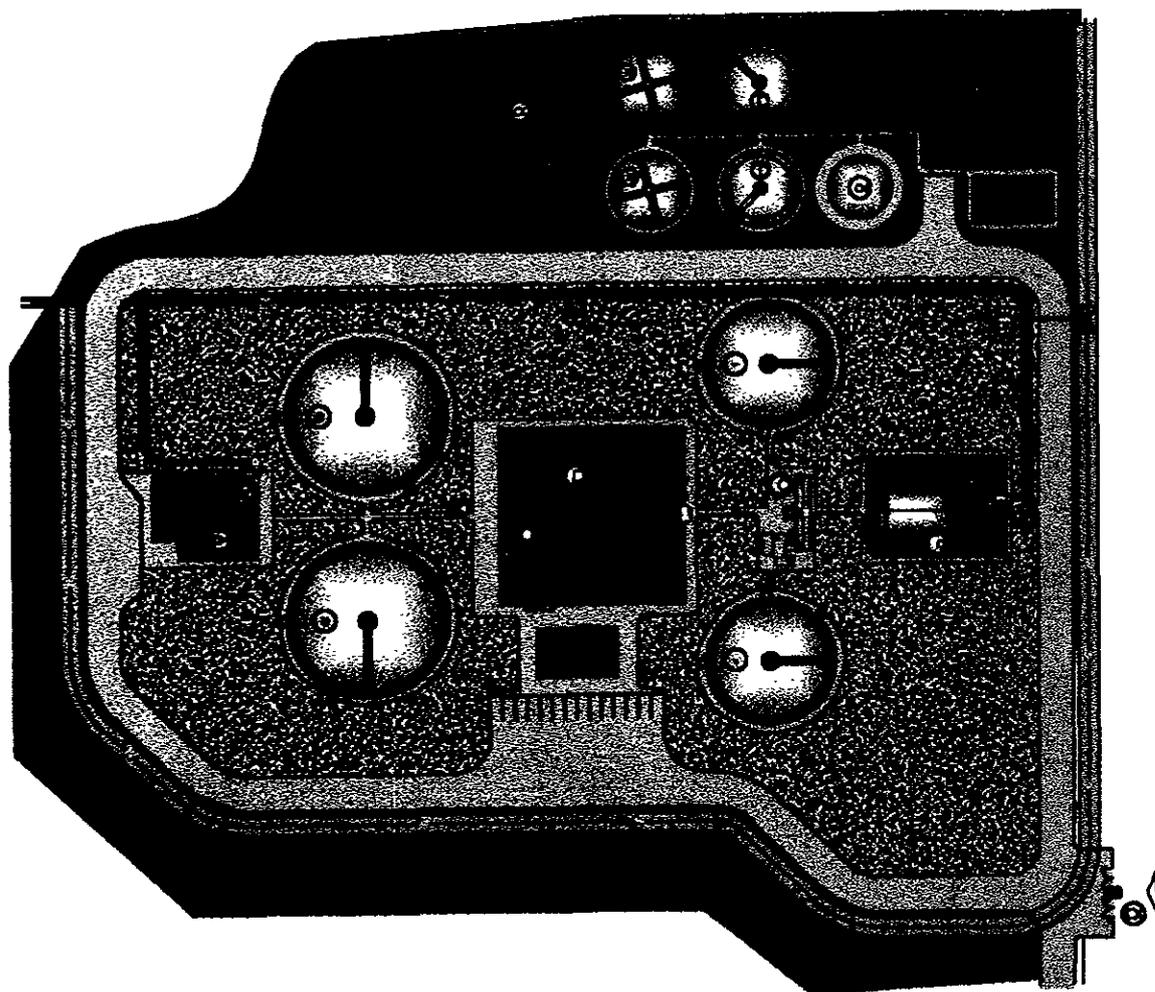
b) Responsables de cada disciplina. Responsable de la administración y dirección del personal de la disciplina a su carga, así como de la aplicación de la técnica adecuada y el cumplimiento satisfactorio de las actividades solicitadas por el *responsable del proyecto*.

c) Ingenieros de proyecto. Realizar el diseño de la *ingeniería básica*, de *detalle* y *procuración*.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO II.

- Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez, Max. (1996). "Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Ilustrado y Comentado". *Editorial Trillas, S. A. de C. V. México, D. F.*
- Baca U., Gabriel. (1990). "Evaluación de Proyectos". *Editorial Mc Graw Hill Inc. 2a. Edición, México.*
- Castellanos Rosas, María Cristina. (1997). "Funciones Administrativas aplicadas a la ejecución de una planta de tratamiento de agua residual, proceso aerobio". *Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Química, UNAM. México.*
- Grand, Eugene L, Grant Ireson W., Leavenworth, Richard Sl. (1989). "Principios de Ingeniería Económica". *CECSA, 2a. Edición en Español, México, D. F.*
- Kano G., María y Muñoz R., Graciela. (1991). "Dimensionamiento y Selección Técnica - Económica de Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales" *Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Química, UNAM. México.*
- Lozano Rios, Leticia. (1990). "Administración de Proyectos". *Cuadernos de Posgrado Num 16. Fac. de Química, UNAM, México.*
- Márquez Moreno, Martín. (1996). "Propuesta para la operación y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales basada en zanjas de oxidación". *Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campo II. U.N.A.M.*
- Metcalf & Eddy (1996). "Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, Tomo 1", *Mc. Graw Hill Publishing Co. U.S.A.*
- Morales Valladares, Carlos. (1994). "Ingeniería de proyecto aplicada al tratamiento de aguas residuales". *Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Química, UNAM. México.*
- Nacional Financiera S. N. C., Dirección de Desarrollo Empresarial. (1992). "Diplomado en el Ciclo de Vida de los Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación". *1a. Edición, México, D. F.*
- Rase, Howard y Barrow. (1979). "Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso". *Compañía Editorial Continental, S. A. México.*
- Vázquez González, Alba B. y César Valdez, Enrique (1993). "Impacto Ambiental", *Facultad de Ingeniería, UNAM e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)*
- American Concrete Institute ACI 318R-95 (1995). "Reglamento de las construcciones de concreto reforzado y comentarios", Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

CAPÍTULO 3
CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA INGENIERÍA CIVIL.



CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA INGENIERÍA CIVIL

Al igual que cualquier obra de ingeniería, una planta de tratamiento debe construirse después de desarrollar un proyecto que cumpla con los reglamentos, normas y métodos de construcción especificados. La elaboración del proyecto implica el diseño civil de las estructuras sanitarias, el cual incluye las siguientes actividades:

1. Estudios geotécnicos.
2. Diseño Estructural.
3. Diseño Hidráulico.

3.1 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.

Las principales consideraciones para realizar el estudio geotécnico se comentan a continuación.

3.1.1 CONDICIONES GEOTÉCNICAS.

Por lo general, las plantas de tratamiento se ubican en antiguas llanuras de inundación o próxima a cauces, por lo que la topografía es casi plana o bien cercana a taludes. Esta última condición puede afectar a las estructuras aledañas a los taludes, produciendo desnivelaciones o, en casos extremos, el deslizamiento del talud, por lo que es aconsejable ubicar los tanques a una distancia razonable del hombro de éste, recomendándose del orden de dos veces la altura del talud cuando se piense emplear una cimentación superficial (Murillo Fernández, 1991).

Si se planea construir las estructuras en terrenos de inundación, el subsuelo estará formado por materiales blandos como arcillas saturadas o arenas sueltas, con nivel freático superficial y, posiblemente, con un contenido importante de materia orgánica o de sales que atacarán a los elementos estructurales. Como consecuencia se recomienda, en caso de que se requiera y sea posible, realizar un tratamiento del terreno para reducir su deformabilidad.

Cuando la planta se localice en cauces, se debe tener presente que la estratigrafía será heterogénea con una amplia variedad de materiales: desde fragmentos de roca y boleos, hasta suelos finos como limo, arcilla y materia orgánica, distribuidos en forma errática, en estratos horizontales y/o lentes aislados. En general el terreno podrá soportar los esfuerzos que transmiten las estructuras, pero deberá verificarse su deformación. Si existen espesores importantes de turba, el sitio será desechado.

Otros sitios donde se localizan las plantas de tratamiento son las zonas de relleno que, en forma frecuente, se encuentran constituidas por suelo en estado suelto que requiere un mejoramiento.

3.1.2 TOPOGRAFÍA.

Los estudios topográficos son las actividades de campo y gabinete que se deben realizar con la finalidad de obtener información altimétrica y planimétrica para representar en planos a escala la configuración del terreno necesario para la instalación del proyecto. Las especificaciones técnicas de cualquier levantamiento topográfico dependerán del tipo de terreno pero, en general, los lineamientos que se siguen son:

a) *Planimetría.* Se realiza mediante el trazo de una poligonal cerrada o una poligonal abierta, dibujando los resultados en un plano de acuerdo a las siguientes escalas recomendadas:

- Terrenos de hasta 8 hectáreas : Escala 1 : 500
- Terrenos mayores de 8 hectáreas : Escala 1 : 1000

Cuando se realicen obras de rehabilitación y/o ampliación se deben incluir en el plano la localización de todas las unidades de tratamiento, equipos y edificios, así como las vialidades y servicios generales existentes.

b) *Altimetría.* Para realizarla se localiza un punto fijo que sirve como banco de nivel y de referencia para la altimetría. Este punto puede estar en cualquier estructura fija, fácil de localizar y cercana al terreno. Se procede a correr una nivelación a lo largo de la poligonal y se vacía la información en el plano del terreno, trazando las curvas de igual nivel. Estas curvas se hacen de acuerdo a las recomendaciones siguientes:

- A cada 0.50 m para sitios planos, hondonadas naturales y terrenos ligeramente sinuosos.
- A cada 1.00 m para sitios sinuosos, hondonadas profundas y valles escarpados.

Es importante tener en cuenta que para lograr una operación eficiente del sistema hidráulico, que reduzca los consumos de energía al mínimo, se recomienda que el flujo entre los diversos procesos de tratamiento sea por gravedad, llegando a la condición ideal desde el punto de vista topográfico que es la de utilizar un solo bombeo, ya sea al inicio o al final del tratamiento. Esta situación se logra ubicando las estructuras a diferentes niveles, considerando las tolerancias que deben existir entre cada fase del proceso y analizando el comportamiento de la cimentación.

3.1.3 ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS.

Son los trabajos de campo, laboratorio y gabinete que sirven para conocer las características físicas y mecánicas del subsuelo, y están constituidos por las siguientes actividades:

a) *Levantamientos geotécnicos.* Aquí se identifica la existencia de discontinuidades (fallas o fracturas), taludes (estudiando su estabilidad), barrancas, minas, rellenos, perfiles estratigráficos.

b) *Perforaciones o sondeos.* Se recomienda realizar perforaciones para examinar las condiciones del subsuelo de acuerdo a lo siguiente: para los primeros 929 m² de terreno deben hacerse un mínimo de cuatro perforaciones y por lo menos dos perforaciones más por cada 929 m² de área

adicional. Además, es conveniente ubicar perforaciones extras para conocer la estratigrafía y capacidad de carga del subsuelo en los sitios donde se presenten concentraciones de carga por equipos pesados o donde se vaya a desplantar una estructura importante. La perforación se deberá realizar al menos hasta una profundidad igual al ancho de la estructura o hasta encontrar material firme en el que se pueda apoyar la cimentación (ACI 350, 1993).

Se debe registrar el nivel freático al inicio y al final de la exploración y después, diariamente durante el mayor tiempo posible con la finalidad de determinar el nivel máximo y mínimo, así como cualquier variación periódica y estacional del mismo.

Para realizar un programa de sondeo se deben conocer las características y aplicaciones de los diferentes tipos de muestreos, los cuales se pueden agrupar en función del tipo de muestra que obtienen en: muestra "alterada" y muestra "inalterada", como se describe a continuación

Muestras alteradas. Son adecuadas para clasificar, obtener las propiedades índice del suelo y registrar el nivel de aguas freáticas. Para su obtención se recomienda realizar perforaciones a cielo abierto que consisten en excavar un pozo de dimensiones suficientes (entre 0.8 y 1.5m) para que un técnico pueda bajar a examinar los diferentes estratos y las condiciones de agua en el subsuelo. Se recomienda tomar al menos una muestra alterada de cada uno de los pozos a cielo abierto.

A pesar de que el pozo a cielo abierto es el método más satisfactorio para conocer directamente las características del subsuelo, no puede llevarse a grandes profundidades a causa de la dificultad para controlar el flujo de agua bajo el nivel freático y del encarecimiento de la excavación por la profundidad. En estos casos se adoptará el método de penetración estándar que consiste en introducir un penetrómetro a golpes dados por un martinete que cae desde 76 cm. En cada avance de 60 cm se retira el penetrómetro y se remueve el suelo de su interior, el cual constituye la muestra. Contando el número de golpes necesarios para lograr una penetración de 30 cm se puede obtener la resistencia al corte del suelo.

Muestras inalteradas. Se emplean para determinar el comportamiento mecánico del suelo. Estas muestras deben conservar las condiciones del suelo en su estado natural, por lo que su obtención, preparación y transporte requiere de cuidados especiales. Se recomienda tomar cuando menos una muestra inalterada por cada estrato.

c) Pruebas de laboratorio. Con las muestras de suelo obtenidas en los sondeos se realizan las pruebas de laboratorio para determinar las siguientes propiedades índice y mecánicas:

- Propiedades índice: identificación o clasificación del suelo, contenido de agua, densidad de sólidos, granulometría, límites de consistencia y porcentajes de finos.
- Propiedades mecánicas: consolidación unidimensional, permeabilidad, resistencia al corte, capacidad de carga y pruebas triaxiales.

Como conclusión de los estudios de mecánica de suelos se obtienen una serie de recomendaciones para seleccionar el tipo de cimentación que debe usarse.

3.2 CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES.

Para hacer el diseño estructural de una planta de tratamiento se recomiendan las siguientes normas

- Reglamento de Construcciones del Estado (Vigente).
- Reglamento para Construcciones del Departamento del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.
- Reglamento para las Construcciones de Concreto Estructural y Comentarios ACI-318R-95.
- Estructuras de Concreto para el Mejoramiento del Ambiente ACI-350-89.
- Capítulo de Tanques y Depósitos del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad.
- Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC).
- Sociedad Americana de Soldaduras (AWS).

3.2.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS.

Las principales estructuras empleados para el tratamiento de las aguas residuales son: estructuras para cribas, tanques de sedimentación primaria y secundaria, tanques de aireación, tanques de homogeneización, tanques para el tratamiento biológico, tanques para el tratamiento y eliminación de lodos, cárcamos de bombeo, edificio para almacenamiento y dosificación de productos químicos, edificios de oficinas, laboratorios, almacenes, canales y soportería.

Para efecto de esta tesis, las estructuras mencionadas anteriormente se clasificarán en función del criterio de diseño que se recomienda emplear como:

a) Tanques, depósitos y estructuras que contengan fluidos. El diseño se realizará de acuerdo a las normas y especificaciones del ACI-318R-95 y del ACI-350-89 (American Concrete Institute). Para el análisis sísmico y de viento regirán las consideraciones contenidas en el capítulo de Tanques y Depósitos del Manual de Diseño de la Comisión Federal de Electricidad.

b) Estructuras de proceso, casetas de control, laboratorios, almacenes, cimentaciones para maquinaria y equipo, y canales de interconexión. Se diseñarán conforme a las normas ACI-318R-95 y ACI-350-89 (American Concrete Institute). Para el análisis de sismo y viento regirá el Reglamento de Construcción en vigor del Estado. En caso de ser estructuras de acero se usarán las normas AISC.

c) Edificios de oficinas, pasarelas y escaleras. El diseño se realizará con el Reglamento de Construcción en vigor del Estado, y a falta de éste, con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. En caso de ser estructuras de acero se usarán las normas AISC.

Debido a que los tanques y depósitos que contienen fluidos juegan un papel importante en el tratamiento de las aguas residuales y, a que el diseño de este tipo de estructuras es menos común que el de edificaciones, a lo largo de este capítulo se hará mayor énfasis en estas estructuras.

3.2.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL Y DE LA FORMA DEL TANQUE.

La selección del material se hará en cada caso particular comparando los costos, incluyendo mantenimiento, y tomando en cuenta la disponibilidad del material en la localidad. Otro aspecto

que puede influir en la decisión es la permanencia que se prevé para las instalaciones en el lugar de interés; esto es, habrá que tener en cuenta que un tanque de acero es susceptible de desmontarse e instalarse en otro sitio, lo cual no ocurre con los de concreto.

Desde el punto de vista económico, los tanques de concreto requieren menor mantenimiento que los de acero. Además, si la capacidad del tanque no llega a 100 m³, lo más probable es que cueste menos un tanque circular de concreto reforzado que uno presforzado, pero para capacidades mayores habrá que considerar la posibilidad de que el tanque sea de concreto presforzado.

Desde el punto de vista estructural, de funcionamiento y de consumo de materiales, es más eficiente un tanque circular que uno rectangular, aunque si la capacidad es pequeña, estas ventajas pueden perderse por el mayor costo de la cimbra para el tanque circular. Cuando el terreno disponible está restringido lo más seguro es que no sea posible adoptar la forma circular, pues para una cierta capacidad total se aprovecha mejor el terreno con tanques rectangulares.

3.2.3 CONDICIONES DE CARGA.

a) *Carga muerta.* Se considera carga muerta a los pesos de todos los elementos que ocupan una posición permanente. Para su evaluación se emplean las dimensiones especificadas en el proyecto arquitectónico y los pesos volumétricos de los materiales. Para estos últimos se considerarán los valores mínimos cuando sean más desfavorables para la estabilidad de la estructura, como en el volteo y flotación de los tanques; y en otros casos se emplearán los valores máximos. En la Tabla 3.1 se presenta una lista de referencia para calcular las cargas muertas de materiales convencionales de construcción.

Tabla 3.1 Cargas muertas de materiales convencionales de construcción.

	Material	Condición	Peso volumétrico [Ton / m ³]	
			Máximo	Mínimo
I	<u>Piedras naturales</u>			
	Arenisca (chilucas y canteras)	seca / saturada	2.45 / 2.50	1.75 / 2.00
	Basalto (piedra braza)	seco / saturado	2.60 / 2.65	2.35 / 2.45
	Tepetates	secos / saturados	1.60 / 1.95	0.75 / 1.30
	Tezontles	secos / saturados	1.25 / 1.55	0.65 / 1.15
II	<u>Suelos</u>			
	Arena de grano de tamaño uniforme	seca / saturada	1.75 / 2.10	1.40 / 1.85
	Arena bien graduada	seca / saturada	1.90 / 2.30	1.55 / 1.95
	Cemento		1.60	1.50
	Mortero		1.00	1.00
	Arcilla típica del Valle de México en su condición natural		1.50	1.20
III	<u>Piedras artificiales, concretos y mortero</u>			
	Concreto simple con agregados de peso normal		2.20	2.00
	Concreto reforzado		2.40	2.20
	Mortero de cemento y arena		2.10	1.90
	Aplano de yeso		1.50	1.10
	Bloque hueco de concreto ligero (volumen neto)		1.30	0.90
	Bloque hueco de concreto intermedio (volumen neto)		1.70	1.30
	Bloque hueco de concreto pesado (volumen neto)		2.20	2.00

Fuente : Anál Simón, 1996.

b) **Carga viva.** Las cargas vivas son las fuerzas provocadas por el uso y ocupación de las estructuras y que no tienen carácter permanente. En las Tablas 3.2 y 3.3 se presentan algunos valores que deben considerarse en el diseño estructural de las plantas de tratamiento.

Tabla 3.2 Cargas vivas de estructuras convencionales.

Destino de piso o cubierta	W [kg/m ²]	W _s [kg/m ²]	W _m [kg/m ²]
Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	40	150	350
Oficinas y laboratorios	100	180	250
Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5% *	15	70	100
Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5% *	5	20	40

Fuente: Arnal Simón, 1996.

* En estas cargas vivas no se incluyen las fuerzas producidas por tinacos o equipos pesados que se apoyen o cuelguen de la cubierta, sino que deben preverse por separado y especificarse en los planos estructurales.

W : Carga viva media. Se emplea para el cálculo de asentamientos y flechas diferidas.

W_s : Carga viva instantánea. Se emplea para el diseño sísmico y por viento y para distribución de carga más desfavorable.

W_m : Carga viva máxima. Se emplea para el diseño estructura por fuerzas gravitacionales y para obtener asentamientos inmediatos en suelos.

Tabla 3.3 Cargas vivas de sustancias comunes en plantas de tratamiento de agua residual.

SUBSTANCIA	PESO VOLUMÉTRICO
Aguas negras sin tratar	1 010 kg/m ³
Gravilla excavada del desarenador	1 760 kg/m ³
Lodo digerido, aerobio	1 040 kg/m ³
Lodo digerido, anaerobio	1 120 kg/m ³
Lodo engrosado o deshidratado dependiendo del contenido de humedad	960 a 1 360 kg/m ³

Fuente: ACI 350R-89.

3.2.4 ACCIONES POR CONSIDERAR.

Las acciones mínimas que se recomiendan considerar para el diseño estructural se explican a continuación en función del tipo de estructura. Es conveniente que las cargas muertas y vivas empleadas en el diseño, incluyendo maquinaria, equipo y soportes, se indiquen en los planos y se exhiba su área de aplicación.

a) **Edificios.** Se deben analizar bajo la acción de:

1. Carga muerta, viva, accidental, de viento y sísmica que pudieran presentarse en un momento dado durante la construcción u operación de la planta.
2. En estructuras que alojen equipos o elementos de apoyo del mismo se debe recurrir al fabricante para que proporcione el peso y volumen real de éstos. En el diseño estructural se debe considerar el más pesado de ellos, incluyendo sus cargas móviles. En general, en los cuartos de control eléctrico, una carga supuesta de 1465 kg/m² cubrirá el peso de cualquier equipo y, en caso de que éste se pueda trasladar de su lugar original a otros sitios de la sala de control, se debe diseñar para la posición del peso que dé la condición más desfavorable (ACI 350, 1989). Además, se deben incluir en el análisis los factores de carga, vibración e impacto, reforzando los elementos estructurales sobre los que podría descansar el equipo provisionalmente durante su instalación y dejando las preparaciones necesarias para el anclaje.

3. La carga viva en pasarelas, escalera, pisos de oficinas y laboratorios debe ser al menos de 350 kg/m^2 (Arnal Simón, 1996).
4. Para el diseño del edificio de almacenamiento de sustancias químicas debe considerarse el peso volumétrico del producto (Ver Anexo C). Es preciso tomar las precauciones necesarias, como bordillos o barreras, para aislar y evitar que los productos se esparzan o se derramen.

b) Tanques y depósitos. Para su análisis se clasificarán en tanques con superficie libre y tanques enterrados o semi enterrados.

b.1) Tanques con superficie libre. Son depósitos para fluidos cuya superficie se encuentra sujeta a la presión atmosférica. Se deben analizar bajo la acción de:

1. Carga muerta. Peso propio del tanque y sus accesorios, incluyendo la cubierta y la estructura de soporte, así como cualquier carga muerta que pudiera presentarse durante la construcción u operación.
2. Presión interior del líquido almacenado. Cuando se considera simultáneamente con este empuje el efecto sísmico o de viento, se supondrá que el tanque está lleno al 80 % de su capacidad. Para valuar deformaciones diferidas en estructuras y en cimentación, se supondrá lleno al 70 %.
3. Carga viva sobre cubierta. No será menor que 120 kg/m^2 de proyección horizontal.
4. Empujes externos. En caso de que el tanque esté bajo el nivel del terreno se considerará la subpresión en las losas de fondo y el empuje lateral de los rellenos y del agua del subsuelo sobre las paredes.
5. Deformaciones y movimientos impuestos a la estructura, tales como hundimientos diferenciales de los apoyos, efectos de los cambios de temperatura, de contracciones y de flujo plástico.
6. Efectos del viento. Se tomarán en cuenta mediante presiones y succiones estáticas.
7. Efecto de sismo.

b.2) Tanques enterrados o semi enterrados. Se deben analizarse bajo la acción de:

1. Carga muerta. Peso propio del tanque y sus accesorios, incluyendo la cubierta, el peso del relleno sobre ella y la estructura de soporte, así como cualquier carga muerta que pudiera presentarse durante la construcción u operación.
2. Empuje del líquido almacenado.
3. Empuje exterior del terreno, incluyendo cierta sobrecarga sobre éste, el empuje del agua del subsuelo sobre las paredes y la subpresión en la losa de fondo.
4. Carga viva sobre la cubierta o relleno, la cual depende del uso que se le dé al área de techo. Además, deben considerarse los pesos de las tuberías y válvulas de gran diámetro, tomando en cuenta el tamaño, número y espacio entre los tubos, así como las ampliaciones planeadas
5. Cargas accidentales.

Adicionalmente, se recomienda tener presente que:

1. Accidentalmente los tanques cerrado se ven obligados a trabajar a presión interior o vacío bajo condiciones normales de operación, es decir, con una distribución de presión del líquido trapecial y no triangular, por lo que se debe verificar la capacidad de servicio o deflexiones. Para evitar esta situación hay que revisar que los respiraderos y válvulas de alivio no se tapen, congelen o cierren por la corrosión. Deben usarse los ajustes máximo/mínimo para las válvulas aliviadoras de presión y las válvulas aliviadoras de vacío para el diseño del acero de refuerzo.

2. Los patrones de carga pueden ser muy importantes para los sistemas de techos enterrados, ya que un claro puede estar al descubierto, mientras que los claros adyacentes están sujetos a cargas de tierra y viva superficial. Por esto, se deben indicar en los planos de construcción las restricciones sobre la colocación, el tipo y peso del equipo que ha de emplearse, así como la secuencia de las capas de tierra por colocar.

3.3 DISEÑO ESTRUCTURAL.

El ingeniero que realice el diseño estructural debe establecer los criterios de diseño para cada estructura dentro de las limitaciones del reglamento de construcción local y con base en los requisitos especiales de las estructuras sanitarias. Las estructuras sanitarias que no sean tanques no se tratan aquí debido a que son similares a las estructuras convencionales.

3.3.1 PROYECTO DE CIMENTACIÓN.

El proyecto de cimentación comienza con la distribución de las principales estructuras de tratamiento, recomendándose que ésta se haga de forma simétrica y con una proyección en planta que corresponda a superficies regulares para que transmitan esfuerzos de manera uniforme (Murillo Fernández, 1991).

Las cimentaciones de obras sanitarias se encuentran expuestas a condiciones más severas que las de otras estructuras debido a que un suelo firme puede, con la presencia permanente del agua, reblandecer y reducir su capacidad de carga. Como consecuencia, este tipo de cimentaciones, además de diseñarse para asegurar a la estructura un apoyo firme bajo todas las condiciones posibles de carga, debe diseñarse para ofrecer resistencia al paso del agua.

Para que una cimentación proporcione un apoyo firme requiere tener la capacidad de carga necesaria para soportar la estructura con deformaciones mínimas y que no exista peligro de socavación por tubificación y flotación.

a) Capacidad de carga y deformaciones. En general, la capacidad de carga del terreno será suficiente para desplantar las estructuras típicas de una planta de tratamiento. Sin embargo, no ocurre lo mismo con las características de deformabilidad, ya que la mayoría de las estructuras sanitarias son tanques y depósitos contenedores de líquidos que no toleran los asentamientos diferenciales que causen grietas y fugas. Como consecuencia debe analizarse: la interacción entre estructuras que podrían causar asentamientos; el asentamiento total; y la magnitud de los hundimientos diferenciales (Murillo Fernández, 1991).

Interacción entre estructuras. Para reducir el efecto de interacción entre estructuras, cuando éstas son rígidas y están cimentadas a poca profundidad, es conveniente una separación de 1.5 veces el ancho de la mayor estructura, lo cual reduce en forma notable los asentamientos diferenciales inducidos por estructuras vecinas, pero obliga a ocupar una mayor superficie para la construcción de la planta (Murillo Fernández, 1991).

Asentamiento total. Cuando una cimentación no ofrece la capacidad de carga suficiente para soportar una estructura, normalmente se presenta un asentamiento de la misma, el cual afecta las

conexiones hidráulicas entre las diferentes fases de tratamiento, pues las tuberías se ven sometidas a compresiones, tensiones y flexiones que pueden provocar su ruptura; además, de que las condiciones hidráulicas de diseño se ven modificadas al presentarse una variación de los niveles de desplante de las estructuras construidas con respecto a los de diseño.

Para prevenir esta situación que implica reparaciones costosas hay que calcular el peso de la estructuras, tomando en cuenta las sobrecargas, y dividirlo entre la superficie de su base. El resultado debe ser menor que la capacidad de carga del terreno proporcionada en los estudios de mecánica de suelos. La capacidad de carga de algunos tipos de suelos se presenta en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Capacidad de carga promedio para diferentes tipos de suelos.

TIPO DE SUELO	CAPACIDAD DE CARGA
	[kg/cm ²]
Roca maciza, en buenas condiciones.	100
Roca estratificada, en buenas condiciones.	40
Pizarra o conglomerado en buenas condiciones.	10
Arcilla compacta.	6
Grava, mezcla de grava y arena, compactas.	5
Grava, mezcla de grava y arena, suelta.	4
Arena gruesa compacta.	4
Tierra arcillosa ordinaria.	4
Arena gruesa suelta, arena fina compacta.	3
Arena fina suelta.	1
Tierra arcillosa blanda.	1

Fuente: Juárez Badillo, 1992

Asentamientos diferenciales. Si una estructura se desplanta en un solo tipo de suelo, no se dificulta el diseño de la cimentación ni de la estructura misma, pero éste se complica debido a que las estructuras que cubren grandes áreas pueden apoyarse sobre varios tipos de suelos, con diferentes capacidades de carga y compresibilidad y, por lo tanto, de deformación, por lo que pueden presentarse asentamientos diferenciales.

Aún en terrenos firmes, por el efecto de contracción y expansión térmica del concreto, se producen movimientos de las estructuras, por lo que las cimentaciones de obras sanitarias deben diseñarse para minimizar los asentamientos diferenciales o para asimilarlos mediante vigas sobre apoyos elásticos. Además, se recomienda realizar los análisis estructurales e hidráulicos y el diseño de las conexiones de forma que permitan ajustar la posición de los niveles prácticamente al final de la construcción para considerar los asentamientos diferenciales que se presentaron durante ésta.

De igual forma, a los elementos vertedores se les debe dar un ajuste correctivo al terminar la construcción de las estructuras con objeto de proporcionar los niveles de proyecto final, ya que las posibles variaciones de éstos debidas a los asentamientos pueden modificar los tiempos de retención de cada fase del tratamiento y, por lo tanto, la eficiencia del sistema.

Cuando la cimentación no ofrece un apoyo suficiente para evitar los asentamientos, se puede reducir la presión que ejerce la estructura aumentando la superficie de contacto de la cimentación con el terreno. Otra posibilidad para reducir la deformabilidad del terreno consiste en mejorar su capacidad de carga mediante preconsolidación en arcillas y limos saturados (suelos cohesivos) y compactación dinámica o vibroflotación en arenas sueltas y limos (suelos friccionantes).

b) Socavación por tubificación. Esta situación se presenta principalmente cuando en el tren de tratamiento se emplean lagunas. Para evitarla hay que impedir que la corriente de infiltración alcance velocidades capaces de arrastrar partículas del subsuelo.

c) Flotación. Debido a que el proceso de tratamiento de aguas residuales es una operación continua, generalmente se olvida considerar en el análisis que los tanques se pueden encontrar vacíos por mantenimiento. Esta condición es de alto riesgo pues puede provocar la flotación de la estructura. Para evitar esta situación se recomienda considerar en el diseño las peores condiciones ante la posibilidad de flotación, en virtud de que un gran número de plantas se encuentran fuera de servicio por no haber considerado en forma adecuada su análisis (Murillo Fernández, 1991). Una solución factible que permite eliminar la subpresión en caso de que se requiera vaciar la estructura es la colocación de subdrenaje.

Otro punto de vital importancia es la correcta determinación del nivel máximo de aguas freáticas y tomar en cuenta que éste puede elevarse artificialmente por fugas de agua de tanques o tuberías cercanas o por inundaciones. Si se presenta un nivel muy alto no considerado, se producirá una fuerza tal que levantará las estructuras, es decir, la flotación de las mismas, con lo que se puede provocar, incluso, que falle la losa de cimentación.

d) Rellenos. Cuando estructuras rígidas se alojan en excavaciones se requieren efectuar rellenos perimetrales. A pesar de que los materiales granulares, como la grava, son fáciles de colocar y compactar, presentan el inconveniente de alta permeabilidad y, por ello, el riesgo de infiltraciones, tanto del tanque al subsuelo como del subsuelo hacia el perímetro de la estructura, representando un riesgo potencial de flotación, por lo que es preferible el empleo de materiales de baja permeabilidad, como arenas arcillosas (tepetate).

3.3.2 DISEÑO DE CIMENTACIONES.

Al diseñar la cimentación de un tanque se debe revisar la capacidad de carga del terreno y limitar los hundimientos diferenciales y el hundimiento medio tomando en cuenta las condiciones de carga más desfavorables. Los hundimientos diferenciales se limitan en función de la capacidad del tanque para deformarse y agrietarse; y el hundimiento medio se limita en función de la capacidad de deformación de las tuberías y conexiones que ligan las estructuras, así como los requisitos de desnivel de los orificios y de las unidades vertedoras.

Si las exploraciones indican que el subsuelo soportará la sobrecarga impuesta por el tanque con hundimientos tolerables y sin que haya riesgo de falla por resistencia, se recurrirá a una cimentación somera y bastará retirar la capa de material suelto o de origen orgánico. Pero si el subsuelo resulta débil o inadecuado para soportar la estructura, antes de recurrir a una cimentación a base de pilotes, pilas u otro tipo de cimentación profunda, se recomienda considerar la posibilidad de mejorar las condiciones del subsuelo y cimentar superficialmente. Además, se deben evitar las cimentaciones mixtas, ya que provocan asentamientos diferentes entre las estructura.

Las principales cimentaciones empleadas en las estructuras de plantas de tratamiento son:

a) Cimentación compensada. La cimentación más utilizada en estas estructuras es la compensada total o parcialmente, lo que se obtiene enterrando la estructura. Cuando la compensación es total

la estructura transmite al terreno el mismo esfuerzo que producía el suelo que se retira para alojar al tanque. En las subcompensadas la estructura transmite un esfuerzo mayor al del terreno excavado y en las sobrecompensadas la estructura transmite un esfuerzo menor. Ver Figura 3.1.

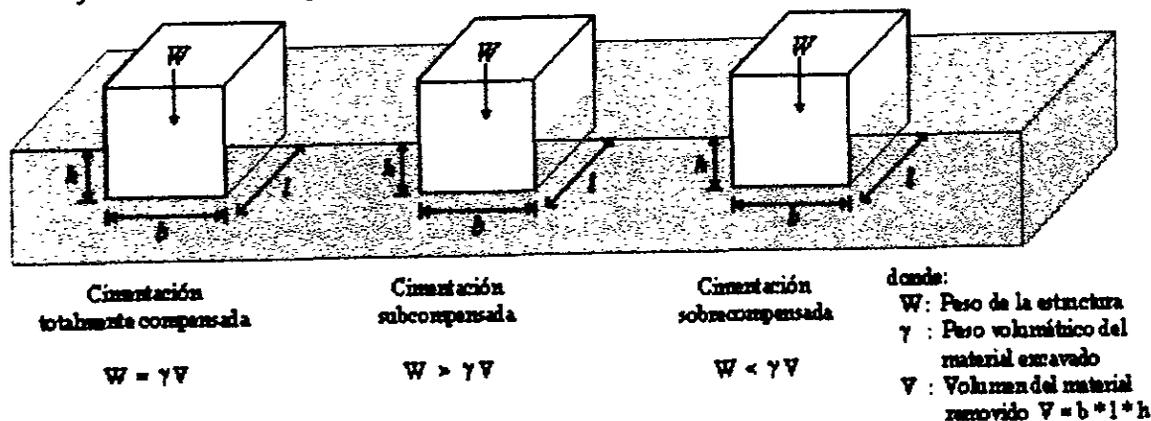


Figura 3.1 Cimentaciones compensadas.

La condición ideal sería que todas las estructuras estuvieran totalmente compensadas pero, debido a los niveles hidráulicos requeridos en cada una, es difícil lograr esto en todos los tanques, por lo que algunos estarán parcialmente compensados y otros totalmente compensados. Por lo anterior, es mejor opción tener las primeras estructuras del proceso en condición parcialmente compensada y las finales como totalmente compensadas ya que, al terminar el tratamiento del agua residual el efluente se incorpora, generalmente, al sistema de alcantarillado que cuenta con un nivel fijo.

Se deben considerar en el diseño hidráulico y de proceso los asentamientos de las estructuras parcialmente compensadas y evitar que las diferencias de niveles hidráulicos disminuyan, sobre todo en las últimas fases del tratamiento.

Algunos tanques rígidos pueden incluir bajo el recipiente de proceso celdas huecas para compensar peso, que además pueden lastrarse para reducir los movimientos diferenciales y evitar la flotación. Esta solución es costosa y difícil de operar, por lo que sólo se deberá adoptar cuando no exista otra alternativa viable.

b) Cimentación profunda. Generalmente, una cimentación profunda es capaz de solventar cualquier situación desfavorable de terreno, pero para el caso de estructuras sanitarias tiene el inconveniente de ser costosa y de que, como las estructuras menores y las conducciones no tienen este tipo de cimiento, tendrían desplazamientos verticales diferentes a los de las estructuras mayores, con las consecuentes modificaciones de las cargas hidráulicas entre estructuras y la posible ruptura de conducciones.

c) Lagunas. Cuando el sistema de tratamiento incluye lagunas, es frecuente el empleo de excavaciones y/o formación de bordos. En suelos blandos, las excavaciones producen expansiones, a veces agrietamiento del fondo y, en casos extremos, falla del mismo, por lo que se deben prever estas situaciones en el diseño y en la selección de los métodos constructivos. Para evitar grietas y vías de agua se recomienda que los bordos y las zonas de relleno sean compactadas antes de la colocación del concreto. Si el terreno es firme, como roca o materiales compactos, los movimientos diferenciales serán pequeños por lo que no se requerirá el mejoramiento del terreno.

d) Cimentación de equipos. Los equipos como bombas, compresores y recipientes localizados a nivel del terreno contarán con cimentaciones separadas del resto de las estructuras con la finalidad de evitar producirles asentamientos diferenciales debidos a excentricidades permanentes.

Estas cimentaciones, además de transmitir la carga al suelo, deberán sujetar al equipo soportado en su lugar. Se recomienda que su nivel terminal de concreto sea cuando menos 0.15 m arriba de la rasante nominal del terreno.

Debido a que muchas de las cimentaciones se encuentran enterradas, el diseñador debe estar en contacto con las personas encargadas de las tuberías e instalaciones a efecto de hacer las consideraciones necesarias y dejar las preparaciones requeridas para construir estructuras funcionales, evitando que se presenten interferencias.

3.3.3 ESTRUCTURACIÓN DE LOS TANQUES.

En general, la estructuración de los depósitos de concreto reforzado sobre suelo compresible se basa en considerarlos como vigas o trabes sobre apoyos elásticos. En el diseño de la cimentación se recomienda el uso de vigas invertidas o de muros transversales para reducir los claros y permitir un espesor de losa económicamente aceptable. Los muros laterales de los tanques se pueden diseñar como si fuesen muros en voladizo empotrados en su parte inferior o bien como muros apoyados en dos o más bordes.

Para el análisis de la estructuración de los tanques se dividirán en: tanques circulares, tanques rectangulares y consideraciones particulares para tanques enterrados o semi enterrados.

a) Tanques circulares. En el diseño de las paredes de tanques circulares generalmente se tomarán en cuenta las tensiones horizontales y las flexiones verticales causadas por el empuje del líquido. La importancia relativa de estas acciones internas dependerán fundamentalmente de la relación altura a diámetro del tanque y de la forma de unión de la pared con el fondo y con la tapa. El refuerzo horizontal constará de barras en forma de anillos y se colocará en dos capas próximas a las caras de las paredes del tanque, y su cuantía variará con la altura en función de la tensión horizontal. Básicamente se tienen las disposiciones siguientes de estructuración:

1. Pared sobre zapata corrida y losa de fondo no estructural. Se recomienda en terreno firme donde no haya hundimientos diferenciales entre la zapata y la losa de fondo. La pared es continua con la zapata. El refuerzo horizontal de la pared se calcula como si su base deslizara libremente en direcciones radiales. El refuerzo vertical generalmente es el necesario por cambios volumétricos.
2. Pared sobre fondo formado por una losa estructural. Se aplica si los hundimientos diferenciales esperados no son excesivos, o cuando el tanque se apoya sobre pilotes. Para diseñar la losa de fondo la reacción que se considera es la que equilibra el peso de las paredes, de la tapa y todas las cargas a ellas asociadas.

b) Tanques rectangulares. El diseño de tanques rectangulares se basa en la teoría de placas delgadas con deformaciones pequeñas, tomando en cuenta las condiciones de continuidad en los bordes de placa. Cuando la continuidad sea significativa, se incluirán las tensiones causadas por el

empuje interior del líquido. Si el tanque tiene varios compartimientos, debe considerarse la posibilidad de que algunos estén llenos y otros vacíos de modo que cada elemento se diseñe para la condición mas desfavorable. Las formas de estructuración pueden ser:

1. Muros en voladizo sobre zapatas corridas y losa de fondo no estructural. Se usa si el terreno es firme y las dimensiones horizontales del tanque son 3 o 4 veces mayores que la altura.
2. Muro con contrafuertes sobre zapata corrida y losa de fondo no estructural. Se usa si la altura excede de 4 m.
3. Muros en voladizo y continuos con losa de fondo estructural. Cuando sólo una dimensión horizontal del tanque es mayor que 3 o 4 veces la altura o el terreno es blando.
4. Muro formado por losas y contrafuertes continuos abajo con contratraveses y losa estructural. Si la altura excede de 4 m. Cuando la altura es grande en comparación con las dimensiones horizontales, las paredes de estos depósitos trabajan esencialmente a flexión horizontal.

Si las paredes del muro no tienen contrafuertes la losa de tapa es sin vigas, y si tiene contrafuertes se emplea un sistema de vigas y losa, en el cual los contrafuertes serán los apoyos de las vigas. Las paredes y losas con largo mayor que el doble del ancho se analizarán como si trabajaran en la dirección corta; si las dimensiones son comparables, los elementos trabajan en dos direcciones y a tensión horizontal. Las paredes con relación largo-ancho menor de dos, sujetas en sus bordes verticales se analizarán como si estuvieran articuladas en la base. Si el depósito tiene tapa, se recomienda unirla a las paredes a través de apoyos deslizantes y suponer libre los bordes superiores de las paredes.

c) Tanques enterrados o semi enterrados. Se aplicará un factor de seguridad no menor de 1.5 por flotación. Si con el peso normal del depósito no se logra esto, se puede ampliar la losa de fondo, de modo que sobresalga y se incluya como fuerza estabilizadora el peso del terreno situado sobre dichas salientes; o bien, se puede recurrir a anclar el tanque al terreno.

En tanques enterrados a poca profundidad o parcialmente enterrados es importante considerar los cambios volumétricos provocados por diferencias térmicas entre la tapa y la parte baja del tanque, por lo cual se sugiere diseñar los apoyos de la tapa de modo que ésta pueda deslizarse horizontalmente sobre las paredes (CFE, 1980).

3.3.4 REQUISITOS DE DISEÑO.

Las estructuras sanitarias pertenecen a la categoría de estructuras en las que el requisito más importante es el agrietamiento mínimo con objeto de proteger la salud pública al evitar las fugas. Como consecuencia, se deben diseñar tanto por resistencia como por esfuerzos de servicio.

1. Diseño por resistencia. Usando cargas factorizadas, resistencias especificadas de acero y concreto f_y y f'_c o f'_c y factores de reducción ϕ .
2. Diseño por esfuerzos de servicio. Usando cargas de servicio y esfuerzos de trabajo permisibles.

a) Diseño por resistencia. Los factores de carga prescritos en los reglamentos de construcción se pueden aplicar a las estructuras sanitarias de concreto con un ajuste. Los factores de carga tanto para la presión lateral de tierra, H , y para la presión lateral del líquido, F , se deben tomar como

1.7. Las combinaciones de cargas factorizadas para la carga de diseño total, U , deben incrementarse por los coeficientes de durabilidad para estructuras sanitarias de esta forma:

- i. En el cálculo del acero de refuerzo en flexión, la resistencia requerida debe ser 1.3 U .
- ii. En el cálculo del acero de refuerzo en tensión directa incluyendo tensión anular, la resistencia requerida debe ser 1.65 U .
- iii. En el cálculo del acero de refuerzo en tensión diagonal (cortante), la resistencia requerida se obtiene al multiplicar por el coeficiente de durabilidad sanitaria de 1.3 al exceso de cortante. El exceso de cortante se define como la diferencia entre el cortante factorizado en la sección, V_u , y la resistencia proporcionada por el concreto ϕV_c . Esto es $\phi V_s \geq 1.3(V_u - \phi V_c)$, donde ϕV_s es la capacidad de diseño del refuerzo por cortante.
- iv. En el cálculo de la zona de compresión por flexión y por cargas axiales, y para todas las cargas que soporta el concreto, la resistencia requerida debe ser 1.0 U .

Estos coeficientes de durabilidad se obtienen a partir del cálculo del ancho de grieta (ACI-350-89).

3.3.5 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Tanto para el análisis de estabilidad como para el diseño se deben incluir las condiciones siguientes:

1. Tanque vacío bajo la acción externa de las condiciones más desfavorables como: empuje del terreno, sobrecarga superficial y presión del agua freática con el nivel máximo probable.
2. Tanque lleno para considerar solamente el efecto total de la presión interior del líquido.
3. Tanque vacío para llevar a cabo los cálculos de flotación.

a) Dimensiones y refuerzo principal del concreto. Las principales recomendaciones que se deben tomar en cuenta para el diseño son:

1. Los muros de concreto reforzado con una altura mayor de 3.00 m y que estén en contacto con fluidos deben tener un espesor mínimo de 30 cm. En términos generales, el espesor mínimo de cualquier elemento estructural de las obras sanitarias es de 15 cm, pero se requerirá un mínimo de 20 cm en donde se desee un recubrimiento de concreto de 5 cm. Cuando se usen dispositivos de retención de agua o que la posición del acero provoque un colado inapropiado, debe considerarse un espesor mayor. (ACI-350-89).
2. La relación entre el área de refuerzo principal y el área total de concreto debe ser al menos de 0.003 para muros de hasta 30 cm de espesor y de 0.0025 para muros más gruesos. Para controlar el agrietamiento es preferible usar un gran número de varillas de diámetro pequeño, siendo la separación máxima entre éstas de 30 cm. (ACI-350-89).
3. El recubrimiento mínimo de concreto para el acero de refuerzo se muestra en la Tabla 3.5.

b) Refuerzo por contracción y temperatura. Este refuerzo está en función de: la distancia entre las juntas de movimiento que disiparán la contracción y los esfuerzos causados por temperatura, la mezcla de concreto, el espesor del elemento, su refuerzo y las condiciones ambientales.

Tabla 3.5 Recubrimiento mínimo de concreto para el acero de refuerzo.

Losas y largueros :	
Varillas superiores e inferiores para condiciones secas:	
* varillas No. 14 y No. 18	4 cm.
* varillas No. 11 y menores	2 cm.
Superficies de concreto expuestas a tierra, agua, clima extremo, en contacto con aguas negras y para la parte inferior que se apoya en plataformas o losas que soportan un relleno de tierra.	
* varillas No. 5 y más pequeñas	4 cm.
* varillas No. 6 hasta No. 18	5 cm.
Vigas y columnas :	
Para condiciones secas:	
* estribos, espirales y anillos	4 cm.
* refuerzo principal	5 cm.
Expuestas a tierra, agua, clima extremo y aguas residuales.	
* estribos y anillos	5 cm.
* refuerzo principal	6.5 cm.
Muros :	
Para condiciones secas:	
* varillas No. 11 y más pequeñas	2 cm.
* varillas del No. 14 hasta No. 18	4 cm.
Superficies de concreto expuestas a tierra, agua, clima extremo, aguas residuales o suelo.	
* tanques circulares con tensión anular	5 cm.
* todas las demás	5 cm.
Zapatas y losas de base :	
En la superficie y en el fondo de los apoyos de losas de concreto.	5 cm.
En superficies sin moldear y bases en contacto con la tierra.	7 cm.
Parte superior de zapatas igual que en las losas sobre la parte superior de los pilotes.	5 cm.

Fuente: ACI-350-89.

En función de la separación de las juntas, la cantidad de acero de refuerzo por contracción y temperatura no debe ser menor que el porcentaje que se muestra en la Figura 3.2, excepto cuando se use concreto de contracción compensada (ACI-350-89).

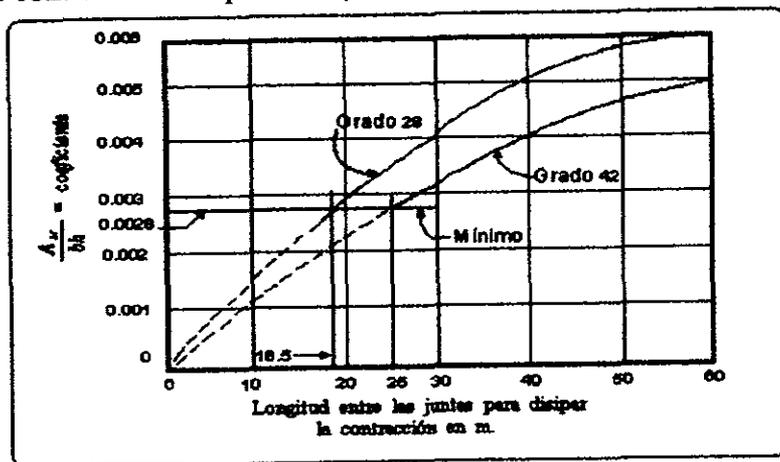


Figura 3.2 Relación de acero de refuerzo por contracción y temperatura.

A menos que se justifique el uso de cantidades menores, el refuerzo por cambios volumétricos debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. En losas no estructurales apoyadas sobre el terreno, el refuerzo en ambas direcciones no será menor que 0.0020 e irá en una capa, aproximadamente 6 cm abajo de la superficie de la losa.

2. Losas y muros estructurales. Se revisará el área de acero de refuerzo en cada cara y en cada dirección, y no será menor de 0.0025. En elementos que trabajan en una dirección, el refuerzo por contracción se colocará entre la superficie de concreto más próxima y el refuerzo principal.

Para reducir el agrietamiento se recomienda dar el refuerzo por cambios volumétricos con barras pequeñas, espaciadas a no más de 30 cm de centro a centro (ACI-350-89).

c) **Juntas.** Para reducir el agrietamiento del concreto por cambios volumétricos y movimientos de los elementos estructurales se debe especificar el uso de juntas de contracción y/o expansión, mostrando su localización en los planos. Asimismo, deben señalarse las etapas constructivas y la localización de las juntas de construcción. En el diseño se debe tomar en cuenta los efectos estructurales debidos a las separaciones por las juntas, sus detalles y secuencias de construcción.

Los tanques de gran diámetro se expanden y contraen a medida que se llenan o vacían, por lo que la conexión entre la cimentación y el muro debe permitir ese tipo de movimientos mediante juntas o bien ser fuerte para resistirlos sin agrietarse.

d) **Flotación.** En función del tamaño e importancia de una estructura se puede limitar la fuerza de subpresión al:

1. Disminuir el nivel de aguas freáticas con tubos de drenaje perforados y sistemas colectores.
2. Poner columnas reguladoras que viertan agua al tanque al rebasar el agua freática cierto nivel.
3. Instalar sistemas automáticos de presión en la losa base o muros laterales.
4. Colocar pilotes contra subpresión o anclas taladradas.

En caso de que ninguno de estos métodos sea práctico, se debe considerar la posibilidad de usar algún sistema de alarma que se encienda al llegar el nivel de aguas freáticas a una altura que fuera de peligro para el sistema, de forma que el operador pusiera en práctica las medidas necesarias para empezar a llenar los tanques y así equilibrar la subpresión.

e) **Protección del concreto.** Debido a las condiciones corrosivas a que estarán sujetas las estructuras, se requiere que el diseñador marque el tipo de protección que se le dará a la superficie del concreto, y cuando se espera que el concreto que cubre al acero de refuerzo se deteriore, también se recomienda la protección del acero.

3.3.6 VIBRACIÓN .

Para lograr que una estructura sea impermeable es esencial evitar el agrietamiento, por lo que se requiere tener sumo cuidado al diseñar por vibración, ya que puede iniciarlo o propagarlo.

La mayoría del equipo mecánico relacionado con las estructuras sanitarias como floculadores, sedimentadores y filtros giratorios se mueven con lentitud, por lo que no provocan vibración. Sin embargo, otras máquinas como: bombas centrífugas, ventiladores, sopladores, centrifugadores, generadores y compresoras, tienen una velocidad de rotación mayor, por lo que el diseño de las estructuras que sirven de apoyo y cimentación requiere considerar la carga dinámica. Los equipos que suelen causar más problemas de vibración son los ventiladores de tiro forzado, los centrifugadores para el desecado de lodo y las mezcladoras de productos químicos, por lo que, se debe tener más control en el diseño de sus soportes.

En general, el costo de estos equipos es mayor que el de su cimentación, siendo una imprudencia ahorrar en los cimientos y correr el riesgo de acortar la vida útil de la máquina, aumentar los costos de mantenimiento y causar el paro de la misma por averías.

La clave para el diseño dinámico consiste en asegurar que la frecuencia natural de la estructura de apoyo del equipo sea diferente de la frecuencia de la fuerza perturbadora, ya que si ambas coinciden, la vibración resonante se presentará. Para minimizar esta situación, la relación entre la frecuencia natural de la estructura y la de la fuerza trastornante debe mantenerse fuera del rango de 0.5 y 1.5. Si la frecuencia natural de la estructura es menor que la de operación de la máquina, durante el arranque y paro del equipo existirá resonancia, pero como es un tiempo muy pequeño se considera que no podría causar daños; sin embargo, cuando la máquina opere a menor velocidad, ésta podría ser muy cercana a la frecuencia crítica de vibración resonante y llevar a la falla al sistema. En conclusión, es mejor mantener la frecuencia natural de la estructura por encima de la velocidad de operación.

Comúnmente los cimientos de equipos están separados de otras estructuras, minimizando así la transferencia de vibraciones hacia otras áreas de la construcción pero, si la vibración es de frecuencia y amplitudes tales que puede ser transmitida a través del terreno, el cimiento también debe aislarse del terreno por medio de soportes que absorban los choques.

Si el equipo no está apoyado directamente en cimientos sólidos, sino en columnas y vigas, lo más importante a considerar es la frecuencia natural de los elementos de apoyo, buscando que su resistencia esté dentro de límites razonables. Si la maquinaria está instalada en un piso alto, se recomienda el uso de aisladores de vibración, pero no deben considerarse como un sustituto del diseño dinámico, ya que todos los aislantes transmiten alguna vibración.

La frecuencia natural de la estructura puede calcularse usando la expresión de la Tabla 3.6, en la que D es la deflexión inmediata debido a la masa considerada y suponiendo que la gravedad actúa en la dirección de la vibración.

Tabla 3.6 Frecuencia natural.

CONDICIONES DE EXTREMO			FRECUENCIA NATURAL, CICLOS POR MINUTO	
Extremo 1	Extremo 2	Carga	Posición de la deflexión D	Donde D es la deflexión en mm
Empotrado	Libre	Uniforme	Extremo 2	$1174/\sqrt{D}$
Articulado o Empotrado		Uniforme	A la mitad del claro	$1073/\sqrt{D}$
Empotrado		Concentrada (en cualquier posición)	Bajo carga	$947/\sqrt{D}$
Empotrado	Libre	Concentrada (en cualquier posición)	Bajo carga	$947/\sqrt{D}$
Articulado		Concentrada (en cualquier posición)	Bajo carga	$947/\sqrt{D}$

Fuente: ACI-350-89.

Si sólo se trata de cargas concentradas, en la Tabla 3.7 se relaciona la deflexión estática de una estructura que sirve de apoyo a un equipo con su frecuencia natural mínima recomendada. También se muestran las deflexiones estructurales máximas para algunas velocidades de operación de ciertos equipos.

Tabla 3.7 Deflexiones máximas recomendadas para determinadas velocidades de operación de equipos.

Velocidad de operación de la maquinaria, ciclos por segundo, [Hz]	Frecuencia natural mínima recomendada de la estructura, ciclos por minuto, [Hz]	Deflexión estática máxima de la estructura debida a la carga muerta y a la carga del equipo [mm]
400 (6.67)	600 (10.0)	2.54
600 (10.0)	900 (15.0)	1.12
800 (13.3)	1200 (20.0)	0.635
1000 (16.7)	1500 (25.0)	0.406
1200 (20.0)	1800 (30.0)	0.279
2000 (33.3)	3000 (50.0)	0.102
2400 (40.0)	3600 (60.0)	0.069

Fuente: ACI-350-89.

El efecto de vibración es acumulativo, ya que las grietas continuarán desarrollándose a medida que pasa el tiempo, por lo tanto, es importante comenzar cuanto antes las acciones correctivas para reducir la vibración en aquellas estructuras en las que ésta haya causado agrietamiento.

3.3.7 MOMENTO TORSIONANTE.

En estructuras circulares enterradas con mecanismos giratorios, como sedimentadores, se debe considerar que la fricción resistente del suelo y la presión pasiva del mismo forman pequeños brazos de palanca y es posible, si la cimentación es pequeña o está sobre rellenos flojos o sedimentos deslizantes, que el sistema de impulsión de la estructura haga girar los cimientos de la columna central. Por lo anterior, se debe tomar en cuenta el momento torsionante en el diseño de la cimentación y columna central, recomendándose que se diseñen para soportar un momento torsionante 50 % mayor que el momento torsionante de parada (ACI 350-93).

Para resistir el momento torsionante se puede: usar pilotes inclinados en la periferia de la cimentación, incrementar el peso de la cimentación para provocar una mayor fricción, aumentar el área de la cimentación para dar un mayor brazo de palanca o acuñar el centro de la columna de concreto en la losa de base.

3.3.8 DISEÑO DE TANQUES PARA RESISTIR CARGAS SÍSMICAS.

El análisis sísmico de los tanques debe tomar en cuenta los efectos sísmicos de: las presiones externas del suelo contra las paredes, las cargas muertas de la estructura y la presión hidrodinámica del líquido contenido, incluyendo los componentes impulsivos y convectivos. Los primeros se desarrollan por las aceleraciones de las paredes del tanque que actúan sobre la masa del líquido, y los segundos se producen por las oscilaciones (oleaje) del líquido dentro del tanque.

La acción sísmica puede inducir fuerzas horizontales de volteo sobre las estructuras, por lo que tal vez se requieran establecer disposiciones especiales cuando las juntas situadas en la base de los tanques deban resistir fuerzas cortantes y cargas de tensión y, al mismo tiempo, cumplir con los requisitos de movimiento. Una solución a esta situación son las juntas parciales.

Las recomendaciones de diseño estructural aquí contenidas, deben considerarse como disposiciones mínimas para uso general. Cualquier característica estructural particular, combinaciones poco comunes de cargas o condiciones especiales de exposición pueden requerir precauciones específicas en el diseño que sean más conservadoras que las disposiciones mínimas.

3.4 CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES BÁSICAS DEL DISEÑO HIDRÁULICO.

A veces una preocupación excesiva por el diseño estructural, asociado con el olvido del comportamiento del agua hace creer que, con lograr que la estructura sea resistente, se puede obligar al líquido a cualquier tipo de desvíos, vueltas, saltos y recorridos forzados. Sin embargo, el fluido se mueve libremente y tiende a socavar y desgastar cualquier obstáculo que estorbe su movimiento, hasta llegar a demolerlo poco a poco y arrastrar sus fragmentos.

Un diseño hidráulico correcto se ve reflejado en la optimización, entre otros, de los costos de energía por bombeo, los costos de construcción por el desplante de las estructuras y en el arreglo de las tuberías; además, contribuye a que el proceso de tratamiento alcance la eficiencia requerida.

3.4.1 CONCEPTOS GENERALES.

A continuación se presentan los conceptos hidráulicos básicos que se emplean en el diseño de plantas de tratamiento de agua residual.

1. En función del comportamiento del fluido, se considera que existen dos tipos de flujos:

a) **Flujo laminar.** En este flujo, las partículas del fluido se mueven con trayectorias paralelas. En la práctica se dice que el flujo es laminar cuando el número de Reynolds no excede de 500 a 600 en canales, y de 1,500 a 2,000 en tuberías.

b) **Flujo turbulento.** En este tipo de flujo se produce un intercambio de cantidad de movimiento entre las partículas del fluido, ocasionando una agitación y mezcla del mismo. Se considera que el flujo en canales y tuberías es turbulento cuando el número de Reynolds es mayor de 2,000. En las plantas de tratamiento se aprovecha este flujo para mezclar reactivos que se adicionan al agua.

El número de Reynolds para tuberías se define como:

$$R_e = \frac{VD\rho}{\mu}$$

donde:

- R_e : Número de Reynolds, adimensional
- ρ : Densidad, $\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$
- μ : Viscosidad absoluta, m^2 / s
- V : Velocidad media, m / s
- D : Diámetro de la tubería, m

El número de Reynolds para canales se define como:

$$R_e = \frac{VR_h}{\nu} \quad \text{y} \quad R_h = \frac{A}{P} = \frac{[\text{m}^2]}{[\text{m}]} = \text{m}$$

donde:

- R_e : Número de Reynolds, adimensional
- R_h : Radio hidráulico de la sección, m
- A : Área de la sección, m^2
- P : Perímetro mojado de la sección, m
- V : Velocidad media en la sección, m / s
- ν : Viscosidad cinemática del agua, m^2 / s

2. El movimiento de un fluido a lo largo de una conducción puede clasificarse como flujo en canal abierto o flujo a presión, según exista o no superficie sometida a la presión atmosférica.

3. **Pérdida de carga hidráulica o de energía.** Se representa por el símbolo h y es la pérdida de energía que experimentan los fluidos. Existen principalmente dos tipos de pérdidas:

a) Pérdida de carga debida a los efectos de rozamiento en el flujo (h_f).

b) Pérdida de carga local inducida por las piezas especiales y accesorios que se utilizan (h_L).

4. **Línea piezométrica.** Es la línea que une los puntos hasta los que el líquido podría ascender si se insertasen tubos piezométricos en distintos lugares a lo largo de una tubería o canal abierto, es decir, es una medida de la altura de presión hidrostática disponible en dichos puntos.

5. **Línea de energía.** La variación de energía de una sección a otra se representa por la línea de energía o gradiente de energía, que es la suma de la elevación (z), la altura piezométrica (y), y la altura cinética o de presión dinámica ($\frac{V^2}{2g}$) con respecto a un plano de referencia determinado. Si no existieran pérdidas de carga hidráulica, la línea de energía sería horizontal; sin embargo, esto no es posible, por lo que la línea de energía resultante es inclinada. Ver Figura 3.3.

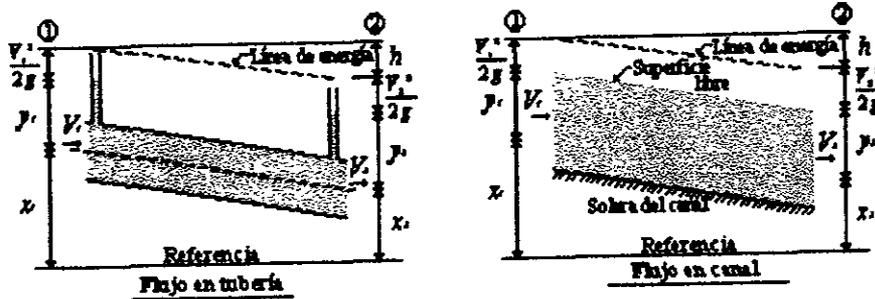


Figura 3.3 Línea de energía de flujo.

6. **Energía específica (E).** Es la suma de la energía piezométrica (y) y la energía cinética ($\frac{V^2}{2g}$).

Ver Figura 3.4.

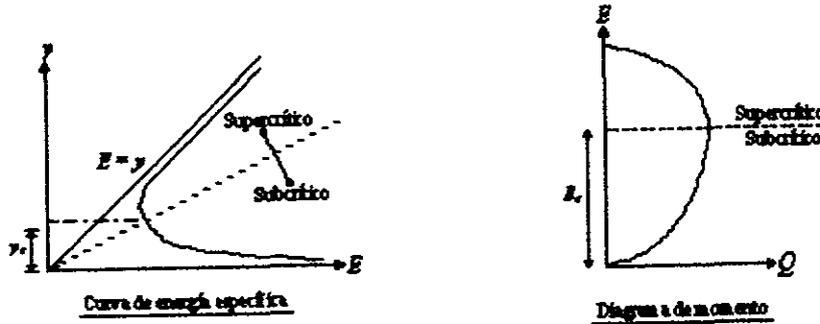


Figura 3.4 Diagramas de energía del flujo

3.4.2 PRINCIPALES ECUACIONES DEL FLUJO.

1. **Ecuación de continuidad.** Expresa la conservación de la masa de fluido a través de las distintas secciones de un tubo de corriente. Se usa para calcular los diámetros de los conductos y las secciones en los canales. La ecuación diferencial es:

$$\rho \left[\frac{\Delta vol}{\Delta t} \right] = \rho_i Q_i - \rho_e Q_e$$

donde :

- ρ : Densidad del fluido, $kg \ s^2 / m^4$
- Δvol : Diferencia de volumen de control, m^3
- Δt : Diferencia de tiempo, s
- ρ_e : Densidad del fluido del efluente, $kg \ s^2 / m^4$
- Q_e : Gasto del efluente, m^3 / seg
- ρ_i : Densidad del fluido del influente, $kg \ s^2 / m^4$
- Q_i : Gasto del influente, m^3 / seg



Figura 3.5 Flujo a través de un volumen de control en un tubo de corriente.

Para el caso de agua residual se considera que la densidad es constante y que no existe almacenamiento en las conducciones, por lo tanto la expresión queda como:

$$Q_i - Q_e = 0 \quad \Rightarrow \quad Q_i = Q_e \quad \Rightarrow \quad A_1 V_1 = A_2 V_2$$

2. Ecuación de la energía. La aplicación de la ley de la conservación de la energía entre los puntos 1 y 2 de un tubo de corriente da la siguiente ecuación:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h$$

donde : p_1, p_2 : Presión, kg / m²
 γ : Peso específico del agua residual, kg/ m³
 z_1, z_2 : Elevación a partir del plano de referencia, m
 h : Pérdida de carga hidráulica, m
 V_1, V_2 : Velocidad, m / seg

Al considerar que no hay pérdida de energía se llega a la ecuación de Bernoulli para un fluido incompresible:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Cuando se transfiere energía al fluido, como en el caso de bombas o ventiladores, la expresión es:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + E_p = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h$$

donde : E_p : Energía neta transferida al fluido, kg / m²

3. Ecuación de cantidad de movimiento. Esta ecuación relaciona cantidades vectoriales en las que interviene la magnitud, dirección y sentido de las fuerzas y velocidades. Se basa en la ley de conservación de cantidad de movimiento que dice: "la variación en el tiempo de la cantidad de movimiento a lo largo de un tubo de corriente ocasiona una fuerza llamada impulso". (Ver Figura 3.6). La ecuación que expresa esta ley para cada dirección del flujo es:

$$\rho_1 A_1 \cos \theta_1 - \rho_2 A_2 \cos \theta_2 - F_x = \rho Q (V_2 \cos \theta_2 - V_1 \cos \theta_1)$$

$$\rho_1 A_1 \sin \theta_1 - \rho_2 A_2 \sin \theta_2 - F_y = \rho Q (V_2 \sin \theta_2 - V_1 \sin \theta_1)$$

donde: F_x, F_y : Fuerzas requeridas para mantener el equilibrio en las direcciones x y y respectivamente.



Figura 3.6 Esquema de una vena líquida para obtener la cantidad de movimiento.

Esta ecuación se emplea para conocer las fuerzas que actúan en las tuberías debidas a cambios de dirección como codos, ya que F_x y F_y , son las fuerzas que se necesitan para mantener el equilibrio y se aplican a través de las paredes de las tuberías mediante estructura de soporte, ganchos, tirantes, macizos de anclaje, etc.

4. Salto hidráulico. Una aplicación de las fórmulas anteriores es la ecuación para obtener los tirantes que se presentan en un salto hidráulico. Ver Figura 3.7.

A partir del equilibrio de fuerzas y la fórmula de continuidad, se tiene que el tirante aguas arriba de un salto hidráulico es:

$$y_2 = \frac{-y_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{y_1}{2}\right)^2 + \frac{2y_1 V_1^2}{g}}$$

para las condiciones aguas abajo, basta intercambiar los subíndices 1 y 2 en la ecuación. A los tirantes y_1 y y_2 se les denomina tirantes conjugados.

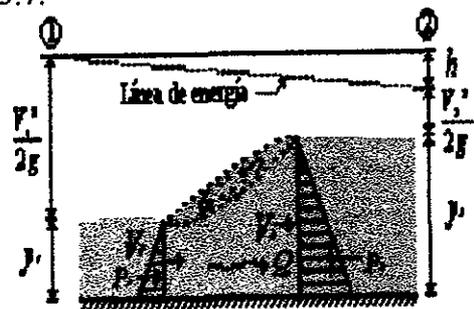


Figura 3.7 Esquema de fuerzas un salto hidráulico.

3.4.3 PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN.

Para diseñar las conducciones de la planta de tratamiento, es preciso conocer: 1) la relación existente entre la pérdida de carga o la pendiente de la línea de energía y el caudal; 2) las características del fluido; y 3) la rugosidad y configuración de la tubería o canal. A continuación se presentan las ecuaciones más empleadas para relacionar dichos factores.

1. Ecuación de Darcy-Weisbach. La pérdida de energía debida a la fricción entre las paredes de tuberías circulares y el fluido en movimiento se puede calcular con la expresión:

$$h_f = f \frac{LV^2}{D^2g}$$

donde :

h_f : pérdida de carga hidráulica, m
 f : coeficiente de fricción adimensional
 L : longitud de la tubería, m
 V : velocidad media, m/s
 D : diámetro de la tubería, m
 g : aceleración de la gravedad, 9.81 m/s²

El coeficiente de fricción f varía en función del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa de la pared de la tubería, ε/D . El término ε representa la rugosidad de la pared de la tubería y se conoce como rugosidad equivalente. Las relaciones entre estas variables se presentan gráficamente en el diagrama de Moody (Sotelo Ávila, 1994).

También se puede obtener el valor de f en función del tipo de flujo a partir de las expresiones:

a) Flujo turbulento : $\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2\varepsilon} + 1.74$

b) Flujo laminar : $f = \frac{64}{Re}$

2. Fórmula de Hazen - Williams. Es la expresión más utilizada para el cálculo de pérdidas de carga en tuberías. La ecuación es:

$$V = 0.849 C R^{0.63} S^{0.54}$$

donde : V : velocidad media, [m / s]
 C : coeficiente de rugosidad, [adimensional]
 R_h : radio hidráulico, [m]
 S : pendiente de la línea de energía, [m / s]

de la cual se despeja S . Los valores más comunes de C son: 140 para asbesto-cemento, de 140 a 150 para acero nuevo, 110 para acero riveteado, 130 para fierro fundido nuevo, de 120 a 140 para concreto, de 130 a 140 para cobre, 120 para fierro galvanizado y de 130 a 140 para plomo. (Sotelo Ávila, 1993).

3. Ecuación de Manning. Tiene su principal aplicación en canales y la expresión es:

$$V = \frac{1}{n} S^{0.5} R_h^{2/3}$$

donde : V : velocidad media, m/s
 n : coeficiente de rugosidad
 R_h : radio hidráulico, m
 S : pendiente de la línea de energía, m/s

Los valores más empleados de n son: 0.012 para concreto liso, 0.013 para metal liso, 0.014 para concreto normal, 0.015 para hierro galvanizado, 0.022 para metal corrugado, 0.030 para tierra y 0.027 para tepetate duro (Ramírez González 1996).

3.4.4 PÉRDIDAS LOCALES DE ENERGÍA.

Son las pérdidas de energía debidas a disturbios locales de flujo por la presencia de piezas especiales como válvulas, té, codos, ampliaciones o reducciones, siendo de gran importancia cuando se trata de arreglos de tuberías de corta longitud. Existen dos criterios para su cálculo:

a) **Criterio de la longitud equivalente.** La pérdida de energía está en función del tipo y diámetro de la pieza especial, y se obtiene de nomogramas como una longitud de tubería equivalente (César Valdez, 1994). Una vez que se suman las longitudes equivalentes de todas las piezas especiales, se calcula la pérdida de energía como si se tratase de pérdidas por fricción.

b) El segundo criterio está en función de la carga de velocidad con la expresión:

$$h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

donde : h_f : pérdida de carga hidráulica, m
 K : coeficiente de la pieza adimensional
 V : velocidad media antes de pasar por la pieza especial, m/s

Algunos valores de K son: 0.60 para te de flujo recto; 1.80 para te de flujo dividido; 0.90, 0.75 y 0.60 para codo de 90° de radio corto, medio y largo respectivamente; 0.48 para válvula de compuerta; 3.7 para válvula de retención y 1.2 para válvula de mariposa. (Sotelo Ávila, 1994).

3.4.5 FLUJO EN LODOS.

En el flujo de lodos, el parámetro que se ve afectado en mayor grado por la presencia de sólidos suspendidos es la viscosidad del fluido mientras que, el cambio en densidad no es tan importante. Debido a que la viscosidad de un lodo es difícil de medir, pues existen problemas de separación de sólidos del agua, el análisis hidráulico de tuberías que conducen lodos no es fácil.

La ecuación comúnmente utilizada para estimar las pérdidas en tuberías que conducen lodo es la de Hazen-Williams en donde el valor del coeficiente C disminuye, ya que los sólidos son más difíciles de conducir, en función de una correlación (C_M) de los valores de C para agua limpia y C para lodos como se describe en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Correlación de valores de C para agua limpia y para lodos.

SÓLIDOS TOTALES %	C_M , Lodo crudo	C_M , Lodo digerido
0	100	100
2	81	90
4	61	85
6	45	75
8.5	32	60
10	25	55

Fuente: Ramírez González, 1996.

3.4.6 VERTEDORES .

Un vertedor es una obstrucción regular sobre la cual pasa el flujo. Debido a sus características son muy precisos en la medición de flujos en canales que no contengan sólidos sedimentables, por lo que su uso para aforar aguas residuales es limitado. Sin embargo, son muy útiles para el control hidráulico en desarenadores, sedimentadores, aireadores y tanques de contacto de cloro.

Un vertedor común en las plantas de tratamiento es el sutro o proporcional, el cual toma su nombre de la característica que el gasto es proporcional a la carga. Generalmente se emplea cuando se tienen desarenadores horizontales de tipo gravedad para controlar la velocidad del canal y medir el gasto. La ventaja de este vertedor es que si aumenta el gasto y, por tanto, la carga sobre el vertedor, la velocidad permanece constante.

El gasto que pasa por los de vertedores más utilizados en las plantas de tratamiento se obtiene usando las ecuaciones de la Figura 3.8. Generalmente en la periferia de los sedimentadores se emplean vertedores dentados, que consisten en una serie de pequeños vertedores, por lo que el efluente total del sedimentador se determina multiplicando el número de vertedores por el gasto que pasa en cada vertedor. En la práctica no se recomienda el uso de vertedores triangulares con ángulos estrechos, pues se pueden tener problemas para lograr simetría en su construcción.

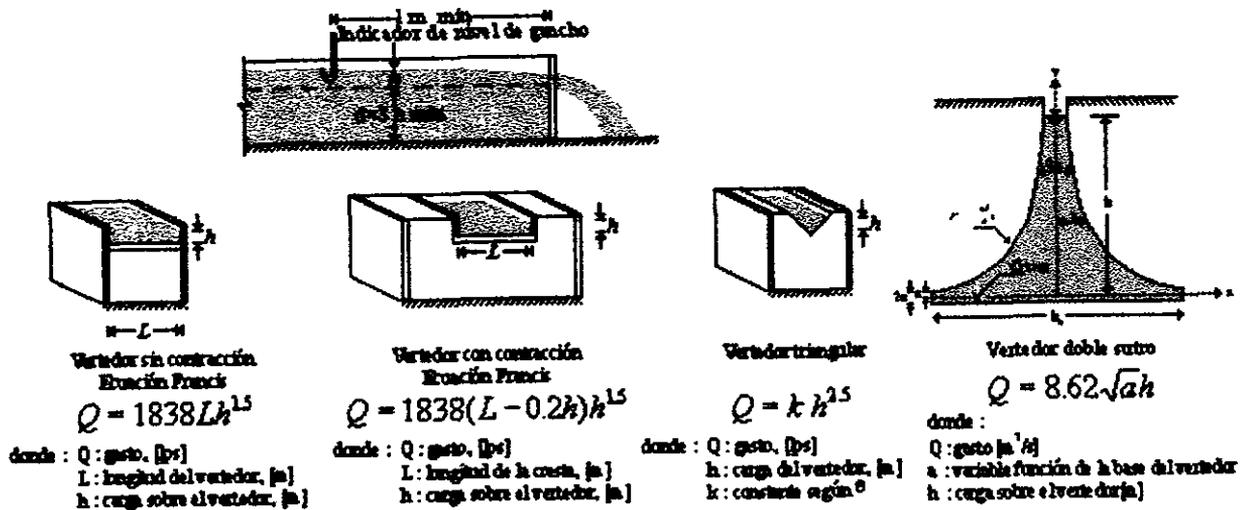


Figura 3.8 Vertedores más usados en las plantas de tratamiento de agua residual.

3.4.7 ORIFICIOS .

Los orificios se utilizan para alimentar canaletas de recolección de agua sedimentada. Las principales ecuaciones para obtener el gasto que circula por los orificios están en la Figura 3.9.

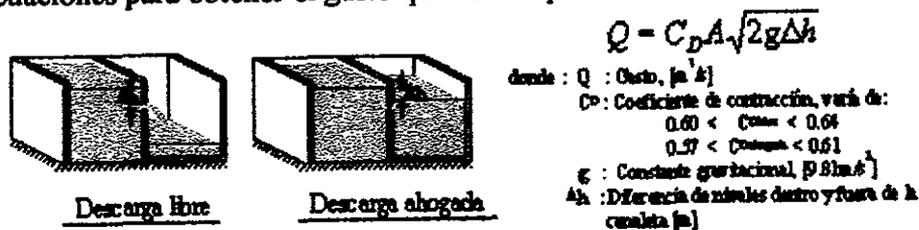


Figura 3.9 Ecuaciones empleadas para obtener el gasto que fluye en orificios.

3.4.8 BOMBEO .

El bombeo tiene una amplia aplicación en los proyectos de plantas de tratamiento de agua residual, ya que se usa para: manejar agua cruda y tratada, lodos crudos, digeridos y espesados, natas, soluciones químicas, apagadores de espuma; para purgar y recircular lodos; vaciar tanques y riego de jardines. En la Tabla 3.9 se presenta un resumen de los tipos de bombas más utilizados.

Para entender el funcionamiento de las bombas se recomienda familiarizarse con las curvas características que proporciona el fabricante y que nos dan información referente al rango de carga de bombeo, rango de gastos, eficiencia de la bomba, potencia requerida y velocidad de rotación. Ver Tabla 3.10.

Tabla 3.9 Tipos de bombas que se utilizan en las plantas de tratamiento y sus aplicaciones.

TIPO DE BOMBA	SUBDIVISIÓN	CARGA DE SUCCIÓN MÁXIMA [m]	DIÁMETRO DE SÓLIDOS MÁXIMO [m]	APLICACIÓN TÍPICA
Centrífuga. Son las de mayor uso en aguas residuales. Su capacidad está determinada por el diámetro y ancho del impulsor	Centrífuga doble orificio, inatacable	4.6	> 7.6	- Agua cruda - Lodos primarios - Lodos secundarios - Efluente
	Centrífuga para agua limpia	4.6	> 2.5	- Agua para limpieza - Apagadores de espuma - Pre y poscloración - Agua de solución para químicos
	Centrífuga tipo vórtice	4.6	> 7.6	- Recirculación de lodos - Arena
	Centrífuga flujo mixto	4.6	> 7.6	- Agua cruda - Soluciones concentradas
	Centrífuga flujo axial	4.6	> 2.5	- Efluente
	Centrífuga desmenuzadora	3.0	-	- Agua cruda - Soluciones concentradas
Impulsión con aire (air lift)	Se usa en el proceso de lodos activados y para sacar arenas.	3.0	> 7.6	- Agua cruda - Recirculación
Tornillo de Arquímedes	Su capacidad y carga está en función del diámetro y ángulo de inclinación del tornillo.	0	> 15	- Agua cruda - Recirculación de lodos
Desplazamiento positivo. Gran habilidad para el manejo de lodos concentrados y pesados	- Pistón - Rotatorio - Diafragma	6.7	Consultar con fabricante	- Lodos primarios - Lodos espesados - Lodos digeribles - Productos químicos - Soluciones concentradas

Fuente: Ramírez González.

Tabla 3.10 Curvas características de las bombas.

CURVA CARACTERÍSTICA	APLICACIONES
Curva de la bomba	Si una bomba centrífuga opera con velocidad de rotación constante, se observa que conforme aumenta la carga hidráulica que vence la bomba, disminuye el gasto manejado, hasta que no descargue nada. La carga a la que esto sucede se llama carga de cierra.
Curva de carga del sistema	Relaciona los gastos con las cargas del sistema. Se obtiene calculando las pérdidas de carga del sistema para diferentes valores de gastos y graficándolos.
Curva de eficiencia	Relaciona la eficiencia de operación de la bomba con el gasto.
Curva de potencia efectiva	Muestra la fuerza que debe proporcionarse a la bomba para diversos gastos.

Fuente: Adaptado de Sotelo, 1994.

La intersección de la curva de carga del sistema con la curva de la bomba representa la condición de operación real del sistema. En la Figura 3.10 se muestra un ejemplo de curvas características de una bomba.

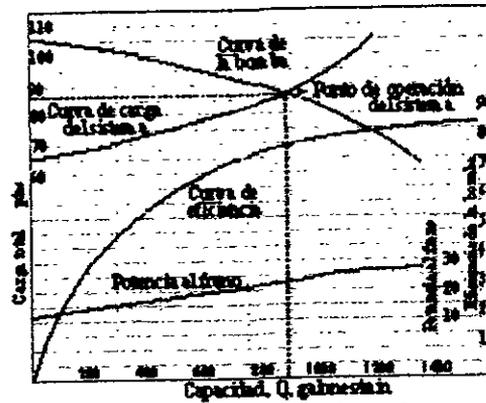


Figura 3.10 Curvas características de una bomba.

3.4.9 PERFIL HIDRÁULICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

El perfil hidráulico de una planta de tratamiento de aguas residuales es un resumen gráfico de los cálculos hidráulicos y sirve para establecer el nivel de la superficie del fluido y su relación con las elevaciones de las estructuras del proceso, mostrando las cotas del terreno, del fondo y corona de las estructuras y el nivel del agua o lodos. Se realiza un perfil hidráulico para el tren de agua y otro para el tren de lodos, siendo la escala vertical la más importante al dibujar.

Los cálculos se inician en el punto de descarga del agua tratada o en la estructura que se considere de mayor importancia y de ahí se definen profundidades de desplante de todas las unidades. Se realiza tomando como base el gasto máximo extraordinario. Ver Figura 3.11.

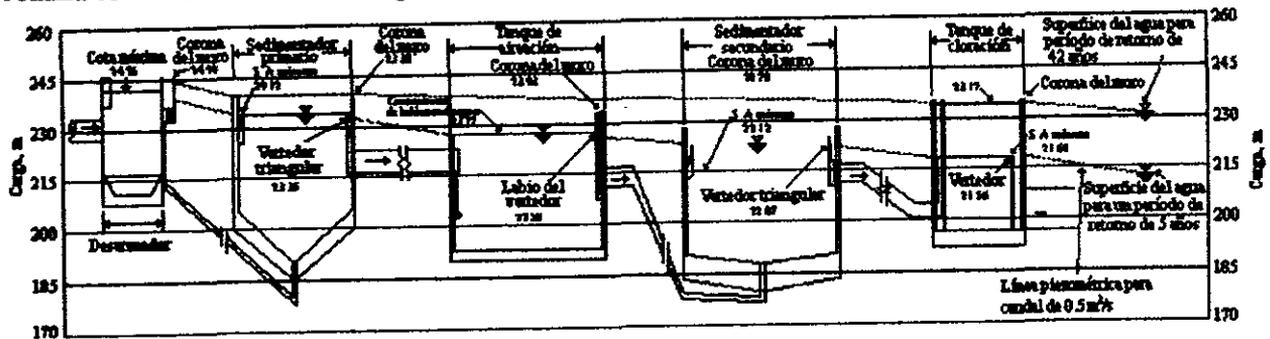


Figura 3.11 Perfil hidráulico de una planta de tratamiento.

El sistema que abastecen de agua a la planta se debe salvaguardar de los contraflujos en todas las partes en que se conecte a equipo hidráulico; así como la red de tubería de agua limpia en los sistemas duales o múltiples se debe proteger de conexiones cruzadas con el uso de válvulas.

3.5 INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

Requieren generalmente del trazo de planos que muestren: las unidades principales, transformadores, subestaciones, carga total para alumbrado y fuerza, demanda máxima estimada y el tamaño del motor más grande. Es suficiente una sola fuente de alimentación, excepto cuando

una breve interrupción de corriente pueda tener consecuencias serias en el tratamiento. En estos casos se pueden introducir alimentadores de reserva o recurrir a servicios primarios de energía a alto voltaje de forma particular, esto se emplea principalmente en plantas de tratamiento grandes, en donde se tengan operando motores de más de 200 HP. Es común en los sistemas de tratamiento que el servicio secundario sea de 440 v y el servicio trifásico de cuatro hilos a 120 V.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO III.

- ACI Manual of Concrete Practice. (1993). "350 Environmental Engineering Concrete Structures ACI 350 R-89". Part 4. *Bridges, Substructures, Sanitary and other Special Structures. Structural Properties.*
- Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez, Max. (1996). "Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Ilustrado y Comentado". Editorial Trillas, S.A. de C. V. México, D.F.
- Cesar Valdez, Enrique. (1994). "Abastecimiento de Agua Potable". *División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D. F.*
- Comisión Federal de Electricidad. (1980). "Manual de diseño de obras civiles. Estructuras C.2.5 Tanques y depósitos". *Instituto de Investigaciones Eléctricas. México.*
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1988). "Manual of Instruction for Water Treatment Plant Operators" Editorial Limusa, S. A. de C. V. México, D.F.
- Juárez Badillo, Rico Rodríguez. (1992). "Mecánica de Suelos Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos". Editorial Limusa, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores. México, D. F.
- Merrit, Frederick S. (1995). "Manual del Ingeniero Civil. Tomo IV". McGraw Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V. México, D.F.
- Metcalf & Eddy (1996). "Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, Tomo 1", Mc. Graw Hill Publishing Co. U.S.A.
- Murillo Fernández, Rodrigo (1991). "Obra civil de plantas de tratamiento: factores que afectan el funcionamiento" *Revista de Ingeniería Ambiental. Enero de 1991. Año 4. No. 9. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C. Sección Mexicana de la AIDIS. Pags. 6 - 18.*
- Ramírez González, Antonio. (1996). "Hidráulica aplicada al proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales". *Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.*
- Rase, Howard y Barrow. (1979). "Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso". *Compañía Editorial Continental, S. A. México.*
- Sotelo Ávila, Gilberto (1993). "Apuntes de Hidráulica II". *División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D. F.*
- Sotelo Ávila, Gilberto (1994). "Hidráulica General Volumen 1 Fundamentos", Editorial Limusa, S.A. de C. V. Grupo Noriega Editores. México, D. F.

Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute ACI)

318R-95 (Ratificado en 1995)

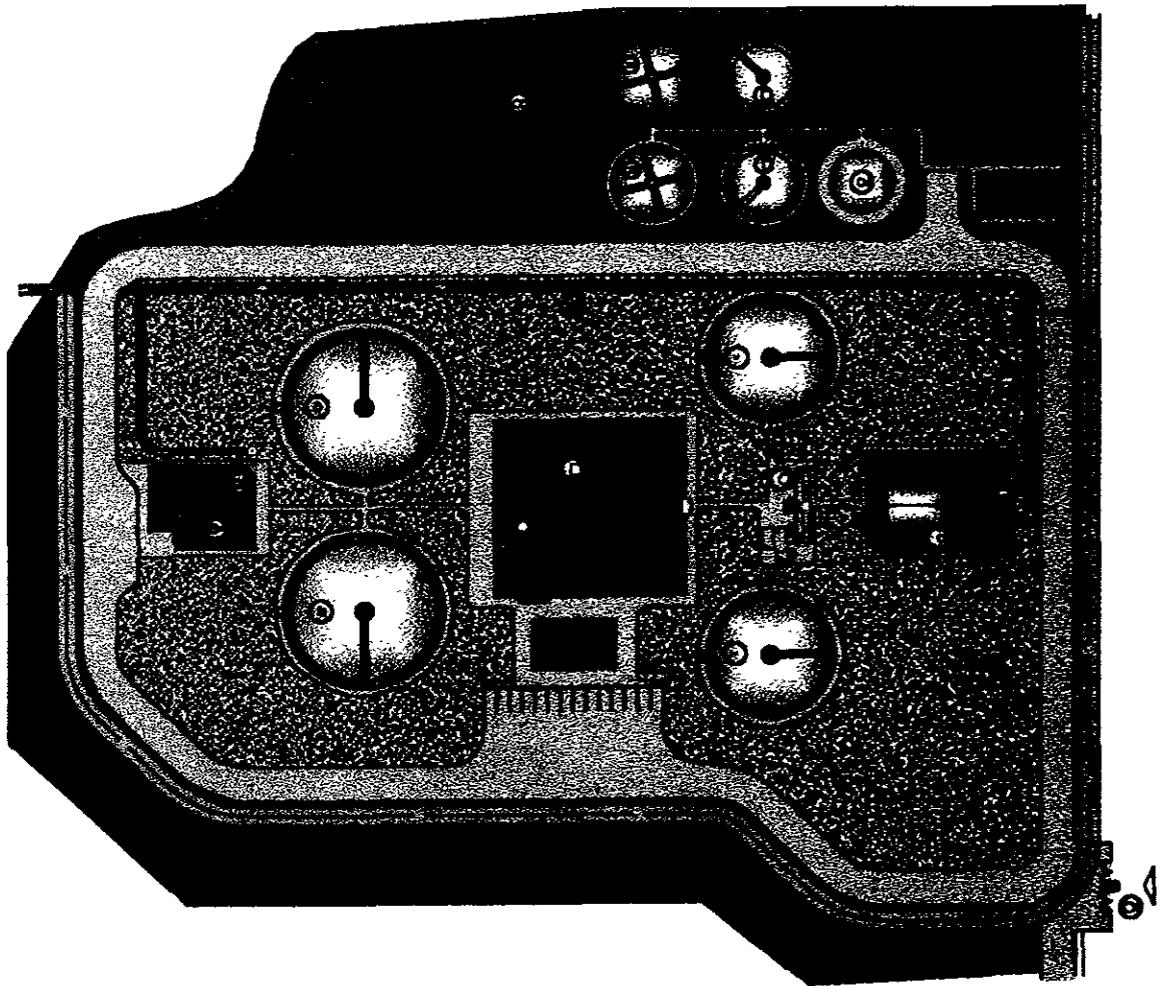
Reglamento de las construcciones de concreto reforzado y comentarios. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

350R-89 (Ratificado en 1992)

Estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS Y CUIDADO DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.



CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS Y CUIDADO DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION

En el diseño de las estructuras de una planta de tratamiento se debe considerar la calidad del agua residual que contendrán a fin de determinar la presencia de productos químicos y agentes agresivos que atacarán directamente a los materiales con que se construyen. Por lo cual, se recomienda que antes de iniciar el diseño se cuente con una caracterización del agua para establecer el tipo de material que se debe emplear y, en su caso, la protección que requerirán los equipos y la obra civil.

Entre los parámetros que se deben tomar en cuenta para el diseño se pueden citar:

- * Alcalinidad del agua (pH).
- * Temperatura a la que estará ingresando a la planta de tratamiento.
- * Cantidad de sólidos suspendidos.
- * Contenido de fosfatos.
- * Contenido de sulfatos.
- * Contenido de cloruros.
- * Grasas y aceites.

Los materiales que en mayor proporción se emplean en las plantas de tratamiento son: concreto, acero y suelo, los cuales se encuentran sometidos al ataque mecánico, químico y biológico de las aguas residuales. Debido a que los tanques y depósitos de concreto juegan un papel importante en las plantas de tratamiento, a lo largo de este capítulo se dará mayor énfasis a las características y cuidados que se deben dar al concreto que constituye estas estructuras.

4.1 COMPONENTES DEL CONCRETO.

El concreto es básicamente una mezcla de dos constituyentes; agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. En seguida se describen las características de cada uno de sus componentes.

4.1.1 TIPOS DE CEMENTOS.

El cemento portland es un material finamente pulverizado constituido por clinker y yeso. Como resultado de la fabricación del cemento se obtienen los cuatro compuestos químicos básicos que se citan en seguida.

- * (C₃S) : Silicato tricálcico
- * (C₂S) : Silicato dicálcico
- * (C₃A) : Aluminato tricálcico
- * (C₄AF) : Aluminato férrico tetracálcico

Al hidratarse se produce una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento endurecida. Es importante saber que existen varios tipos de cementos para satisfacer diferentes necesidades físicas, químicas y mecánicas, en función de los propósitos específicos; así como recordar que los diversos tipos de cementos no deben intercambiarse en el mismo elemento o parte de la obra. Los cementos empleados en las plantas de tratamiento de agua residual son:

a) Cementos normales. El cemento normal debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C-150 o su equivalente en la NOM-C-1-80. En las plantas de tratamiento se emplean:

- * Tipo I Normal
- * Tipo IA Normal, inductor de aire
- * Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos
- * Tipo IIA De resistencia moderada a los sulfatos, inductor de aire
- * Tipo III De alta resistencia a edad temprana
- * Tipo IIIA De alta resistencia a edad temprana, inductor de aire
- * Tipo V De resistencia elevada a los sulfatos

Cemento Portland Tipo I. Es un cemento de uso general, empleado cuando las propiedades especiales de los demás tipos de cementos no sean necesarias. Se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos tales como sulfatos.

Cemento Portland Tipo II. Se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, pero sin llegar a ser demasiado severas.

Cemento Portland Tipo III. Proporciona resistencia elevada a edad temprana. Químicamente es similar al cemento tipo I, pero sus partículas son más finas. Se emplea cuando las cimbras deben ser retiradas lo más pronto posible o cuando se tenga que poner rápidamente en servicio la estructura.

Cemento Portland Tipo V. Se emplea en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos, su resistencia es adquirida más lentamente que el tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos de este cemento se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico (C₃A). El cemento tipo V, al igual que los demás cementos portland, no es resistente al ataque de ácidos ni de otras sustancias fuertemente corrosivas.

Cementos Portland Inductores de Aire. En su composición corresponden a los tipos I, II y III, respectivamente, con la salvedad de que material inductor de aire ha sido mezclado junto con el clinker durante su fabricación, provocando resistencia a la congelación-deshielo y a la descamación ocasionada por la aplicación de productos químicos.

b) Cemento hidráulico combinado. Este cemento debe cumplir con la norma ASTM C-595 o su equivalente en la NOM-C-1-80. Dentro de este tipo se encuentran los siguientes tipos de cementos, así como sus modificaciones con aire incluido, tal como se denota por el sufijo A.

- * Tipo I (PM) Cemento portland modificado con puzolana
- * Tipo I (MS) Cemento portland modificado con escoria
- * Tipo IP Cemento portland puzolana

c) **Cemento hidráulico expansivo.** Este tipo de cemento debe cumplir con la norma ASTM C-845 y es conocido como tipo E-1 (K). Tiene la característica de que se expande ligeramente durante el periodo de endurecimiento.

d) **Cementos resistentes a los sulfatos.** El contenido de aluminato tricálcico (C_3A) debe ser menor del 8 % en todos los concretos que estén expuestos al ataque moderado de sulfatos. Ver Figura 3.1. Para este tipo de exposiciones también se puede utilizar el cemento portland de escoria de altos hornos tipos IS (MS) o IS-A (MS), así como el cemento puzolana tipo IP o IP-A.

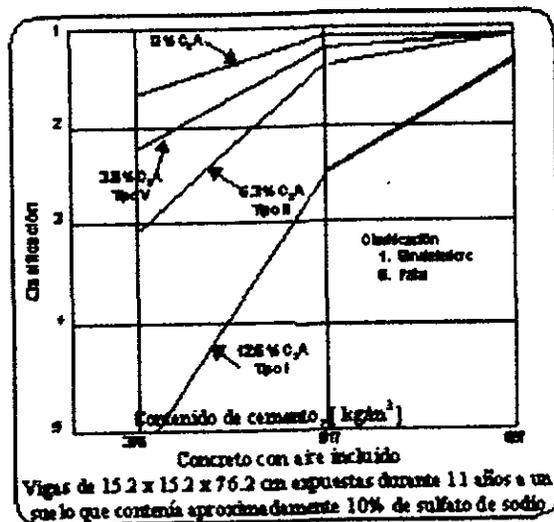


Figura 4.1 Comportamiento de concretos usando cementos con distintos contenidos de aluminato tricálcico (C_3A) en suelo o agua con sulfatos.

Cuando la exposición a los sulfatos sea severa debe usarse un material cementante con menos de 5% de aluminato tricálcico (C_3A), es decir, cemento Tipo V. Si no se encuentra disponible se podrá usar un cemento Tipo II con una reducción del 10 % en la relación agua-cemento o sustituir con puzolana, como ceniza volante, el peso del cemento de manera que el contenido total de C_3A del cemento más la puzolana no sea mayor al 5 %. Ver Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Tipos de cementos para concreto expuesto al ataque de sulfatos.

Exposición a los sulfatos	Sulfatos (SO_4) en el suelo solubles al agua, % por peso	Sulfatos (SO_4) en el agua, partes por millón	Tipo de cemento
Despreciable	0.00 - 0.10	0 - 150	-
Moderada *	0.10 - 0.20	150 - 1,500	II, IP (MS), IS (MS)
Severa	0.20 - 2.00	1,500 - 10,000	V
Muy severa	Arriba de 2.00	Arriba de 10,000	V más puzolana **

Fuente: Kosmatka, Panarese, 1992.

* Agua de mar.

** Puzolana que haya demostrado por pruebas o por registros de empleo mejoras en las resistencias a los sulfatos cuando se utilice en un concreto que contenga cemento Tipo V.

e) **Cemento con bajo contenido de álcali.** En caso de que los agregados sean potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, se podrá usar cemento tipo II o tipo V de bajo contenido de álcali o bien un cemento portland puzolana que inhiba la reacción álcali-agregado.

4.1.2 PUZOLANAS .

Las puzolanas son materiales silicos que en presencia de humedad pueden formar compuestos con propiedades cementantes. Existe un gran número de materiales naturales que se emplean como puzolanas como: tierras diatomáceas, horstenos, opalinos, arcillas, pizarras, tobas volcánicas, piedra pómez, cenizas volantes y humo de sílice.

Las puzolanas deben cumplir con las especificaciones que marca la norma ASTM C-618 y no deben exceder del 25% por peso del cemento más las puzolanas para evitar absorción excesiva de aditivos. Las principales ventajas de las puzolanas son: reducción del costo del concreto al reemplazar parcialmente al cemento; relaciones más bajas de agua-cemento; mejoran la trabajabilidad, el bombeo y los acabados; reducen la segregación y el sangrado; ayudan a controlar la reactividad álcali-sílice; y aumentan la resistencia del concreto contra el ataque de sulfatos y corrosión. Sin embargo, se recomienda realizar ensayos físicos antes de aplicarlas para determinar si es adecuado su empleo.

4.1.3 ADITIVOS.

Los aditivos son ingredientes que se agregan al concreto antes o durante su elaboración para mejorar las características del mismo en cuanto a manejo, acabado, resistencia mecánica y al ataque de sustancias química, durabilidad, impermeabilidad, etc.

En este tipo de obras se recomienda el empleo de un aditivo inclusor de aire, ya que aumenta la trabajabilidad e impermeabilidad; disminuye el sangrado y la segregación; proporciona una mejor estructura de la pasta; reduce la contracción e incrementa la resistente al ataque de los sulfatos, a la reactividad a los álcalis y a los efectos de los ciclos de congelación y deshielo.

Los aditivos inclusores de aire son sales de resinas de madera (resina vinsol), algunos detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonada o sales de ácido de petróleo. Este tipo de aditivo debe cumplir con lo estipulado en la norma ASTM C-260 o en la norma equivalente NOM-C-200-78.

Otros aditivos como agentes reductores de agua y puzolanas son útiles cuando tienden a aumentar la trabajabilidad y la compactación con relaciones agua-cemento menores. Si la estructura está expuesta a cloruro, el contenido máximo del mismo en el concreto no debe exceder de 0.10 % del peso del cemento y no deben usarse aditivos que lo contengan con la finalidad de evitar la corrosión.

4.1.4 AGUA.

El agua que se use para la mezcla debe ser potable, a menos que el agua no potable se utilice para los cubos de mortero cuya resistencia a los 7 y 28 días sea por lo menos 90 % de la resistencia de especímenes similares hechos con agua potable (ACI 318-R95). Además, debe ser limpia y estar libre de sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el refuerzo, y cumplir con lo establecido en las normas ASTM C-94, C-109 y C-191 o con su equivalente NOM-C-122-82.

4.1.5 AGREGADOS.

Es importante utilizar el tipo y la calidad adecuada de agregados con objeto de lograr un concreto impermeable y resistente a los productos químicos. Los agregados finos y gruesos deben cumplir con la norma ASTM-C-33 o su equivalente en la NOM-C-111-88; y deben ser partículas durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos, recubrimiento de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia con la pasta de cemento.

Granulometría. Como los agregados ocupan del 60 al 75 % del volumen del concreto (70 al 85% del peso), su granulometría y tamaño máximo afectan notablemente las requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

El tamaño del agregado empleado depende de la dimensión y forma del elemento de concreto y de la cantidad y distribución de refuerzo. Por lo general, el tamaño de las partículas no debe sobrepasar: un quinto de la dimensión más pequeña que haya entre los lados de la cimbra, tres cuartos del espacio libre entre varillas de refuerzo ni un tercio del peralte del elemento, recomendándose que los agregados gruesos sean tan grandes como resulte práctico, consistentes con las restricciones de colocación, trabajabilidad y los métodos de compactación, de forma que el concreto se pueda colar sin cavidades. Esto se fundamenta en la economía, ya que la cantidad de cemento disminuye a medida que aumenta el tamaño (ACI 318-R95).

La forma y la textura superficial de los agregados influyen en las propiedades del concreto fresco. Para producir un concreto trabajable se debe mantener una mínima cantidad de agregados planos, alargados y angulares, ya que necesitan mayor contenido de cemento que los agregados redondeados y lisos para mantener la misma relación agua-cemento. Sin embargo, con una granulometría adecuada ambos agregados generalmente dan la misma resistencia.

Los agregados que contengan cantidades apreciables de materiales suaves y porosos deben evitarse puesto que tienen baja resistencia al intemperismo, ocasionando erupciones en la superficie del concreto que provocan resistencia al flujo.

4.2 ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES.

Los materiales deben almacenarse de manera que se prevenga su deterioro o la introducción de agentes extraños, siguiendo las recomendaciones que se mencionan a continuación:

a) **Cemento.** Debe almacenarse en recipientes a prueba de agua, de preferencia en cobertizos o plataformas de madera elevadas entre 10 y 15 cm, colocándose sobre las pilas cubiertas impermeables. Los sacos se deben apilar de forma que los primeros en entrar sean los primeros en salir. El cemento almacenado por periodos prolongados puede sufrir una "compactación de bodega", la cual se corrige rodando los sacos en el suelo. Cuando se usa el cemento, debe fluir libremente y estar exento de terrones, en caso de que los terrones no se desmoronen fácilmente, se le debe practicar pruebas de resistencia y de pérdidas de ignición antes de ser utilizado en trabajos importantes. También se recomienda aplicar estas pruebas cuando el cemento haya sido almacenado por largos periodos (más de 3 meses).

b) Agregados. Deben ser manejados y almacenados de forma que la segregación y la degradación sean mínimas y que se evite la contaminación del agregado con otros materiales o agregados de otros tamaños. Se recomienda que los montones de material quedan formados en capas delgadas de espesores uniformes para minimizar la segregación. Para evitar la contaminación de los montones se pueden usar mamparas o divisiones y permitir un drenado a fin de que tengan una humedad relativa uniforme. Para asegurar su calidad se deben llevar a cabo muestreos que permitan determinar si cumplen con los requerimientos de limpieza y granulometría.

c) Aditivos. Deben almacenarse de modo que se evite su contaminación, evaporación, congelamiento o que sufran daños que podrían tener efecto adverso en sus características.

4.3 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO.

El objetivo de diseñar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con que se cuenta para producir un concreto resistente a las cargas aplicadas; impermeable; durable; con comportamiento satisfactorio ante las condiciones ambientales y productos químicos usados en el tratamiento de las agua residuales; y que proporcione una superficie lisa de manera que la resistencia al flujo sea mínima.

Antes de efectuar el proporcionamiento se deben seleccionar las características de la mezcla en función del uso y condiciones de exposición a que estará sometida la estructura. El proporcionamiento del concreto se recomienda hacer de acuerdo a los siguientes requisitos:

a) Resistencia. Se debe producir una mezcla con buena granulometría, alta densidad y máxima trabajabilidad; con una resistencia mínima a la compresión especificada a los 28 días de 250 kg/cm², cuando el concreto no esté expuesto a ciclos severos y frecuentes de congelación y deshielo; o 280 kg/cm², cuando lo esté, excepto en casos en que las consideraciones estructurales requieran de un concreto de mayor resistencia (ACI 350R-89).

b) Relación agua-cemento. Como las principales propiedades del concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, para diseñar una mezcla se debe seleccionar la relación agua-cemento acorde con la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia requerida.

Se obtiene una permeabilidad mínima si se utilizan relaciones agua-cemento bajas, pero compatibles con una buena compactación. La relación agua-cemento máxima es de 0.45 y si se usa puzolana, la relación máxima agua-cemento-puzolana debe ser de 0.45 (ACI 350R-89). Algunas medidas para reducir la demanda de agua y de cemento incluyen el uso de la mezcla más áspera que sea práctica usar, el mayor tamaño de agregado y la relación óptima de agregado fino-grueso.

Debido a que la resistencia de la pasta depende de la calidad y cantidad de los componentes reactivos y del grado al cual se completa la hidratación; además de cuidar la relación agua-cemento original, para que se iguale y rebase la resistencia de diseño, es fundamental un vibrado eficiente y un curado constante y completo.

La cantidad de agua utilizada en la mezcla se debe ajustar a las condiciones de humedad de los agregados, recordando que el contenido de humedad de drenado máximo es de 3 a 8 % en los

agregados finos y de 1 a 6 % en los gruesos, de manera que la relación agua-cemento sea igual a la de diseño. Si ésta no se mantiene constante, la resistencia, la trabajabilidad y otras propiedades variarán de una revoltura a otra.

b) Tipo y cantidad de cemento. El tipo de cemento a usar se selecciona en función del grado de exposición a los sulfatos a que van a estar sometidas las estructuras, siguiendo las recomendaciones dadas en el punto 4.1.1. La cantidad de cemento se determina a partir de la relación agua-cemento, buscando que sea la mínima, pero sin llegar a reducir la calidad del concreto. Ver Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Requerimiento mínimo de cemento en función del tamaño máximo del agregado grueso.

Agregado grueso máximo No.	Cemento para estructuras sanitarias [kg/m ³]	Cemento para otras estructuras [kg/m ³]
467 [1 ½", 38.1 mm]	307	279
57 [1", 24.4 mm]	318	308
67 [¾", 19 mm]	335	320

Fuente: ACI 350-89 y ACI 302-92

Las mezclas de concreto que contengan menos cemento de lo que se indica en la Tabla 4.2 pueden usarse cuando se haya demostrado que se obtiene un concreto que cumple con los requisitos de resistencia, alta densidad, trabajabilidad, durabilidad, impermeabilidad, capacidad de ser compactado y acabados aceptables.

En caso de que los agregados sean reactivos a los álcalis, el cemento a utilizar deberá tener menos de 0.6% de álcalis (IMCYC, 1989).

c) Contenido de aire. Se determina según las indicaciones de las normas ASTM C-231 y C-173 o sus normas equivalentes NOM-C-156-88 y NOM-C-158-87, llegando a las recomendaciones de la Tabla 4.3 en función del grado de exposición al que va a estar sometido el concreto:

Exposición ligera. En este tipo de exposición se incluye el servicio de interiores o exteriores en climas donde el concreto no estará expuesto a congelamiento o agentes descongelantes. También se considera cuando se empleó la inclusión de aire para mejorar la trabajabilidad, la cohesión o para incrementar la resistencia del concreto con bajo contenido de cemento.

Exposición moderada. Implica servicio en climas donde es probable la congelación, pero el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos periodos, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

Exposición severa. En este caso el concreto estará expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando pueda sobresaturarse por el contacto continuo con agua o humedad antes de la congelación. Ejemplos de lo anterior son los tanques exteriores para agua.

d) Revenimiento. La mezcla de concreto debe elaborarse con un revenimiento tal que resulte fácil su colocación, moldeado, consolidación y acabado. En la Tabla 4.4 se recomiendan algunos revenimientos medidos en el punto de colocación de acuerdo al tipo de elemento estructural por colar. Para los ajustes de mezclas, el revenimiento se puede elevar aproximadamente 2.5 cm agregando 6 litros de agua por metro cúbico de concreto.

Tabla 4.3 Porcentajes de aire incluido en función del tamaño máximo del agregado grueso.

Agregado grueso máximo No.	Exposición ligera [%]	Exposición moderada [%]	Exposición severa [%]
[3", 76 mm]	1 ½ ± 1 %	3 ½ ± 1 %	4 ½ ± 1 %
[2", 50 mm]	2 ± 1 %	4 ± 1 %	5 ± 1 %
467 [1 ½", 38.1 mm]	2 ½ ± 1 %	4 ½ ± 1 %	5 ½ ± 1 %
57 [1", 24.4 mm]	3 ± 1 %	4 ½ ± 1 %	6 ± 1 %
67 [¾", 19 mm]	3 ½ ± 1 %	5 ± 1 %	6 ± 1 %
[½", 12.7 mm]	4 ± 1 %	5 ½ ± 1 %	7 ± 1 %

Fuente: Kosmatka, Panarese, 1992.

Tabla 4.4 Revenimiento recomendado en función del tipo de elemento estructural.

Elemento de concreto	Revenimiento [cm]	
	Máximo *	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	7.5	2.5
Muros de subestructuras, cajones y zapatas sin refuerzo	7.5	2.5
Losas, columnas, vigas y muros reforzados	10.0	2.5
Concreto masivo	5.0	2.5

* Se pueden aumentar 2.5 cm si se consolida por métodos manuales como por varillado o por picado.
 ** Estas cifras de revenimiento no se aplican cuando se usa un reductor de agua de alto rango.

Fuente: ACI 211.1-81

En el Anexo D se presentan algunos proporcionamientos de mezclas de concreto.

4.4 EVALUACIÓN Y ACEPTACION DE MEZCLAS DE CONCRETO.

Deben realizarse muestreos al concreto con objeto de comparar su resistencia con lo definido en los estándares establecidos, así como con las especificaciones propias de la obra. Para efectuar estas pruebas se recomienda contar con un laboratorio que cumpla con los requisitos del S.I.N.A.L.P. y con personal suficiente, capacitado y certificado que revise y realice todas las pruebas y controles de calidad desde el diseño de la mezcla hasta la colocación y curado del concreto.

Las muestras para verificar la resistencia de cada clase de concreto colado consistirán en dos cilindros de prueba por cada edad y se deberán tomar por lo menos una vez al día y no menos de una vez cada 75 m³ de concreto (ACI-350-89). Si la cantidad total de una clase de concreto es menor de 38 m³, el director responsable de obra podrá omitir las pruebas de resistencia cuando, a su juicio, se proporcione evidencia de resistencia satisfactoria y lo autorice (ACI 318-R95).

La muestra para pruebas de resistencia debe tomarse de acuerdo a la norma ASTM C-172 o su equivalente NOM-C-161 y los cilindros para las pruebas deben ser moldeados, curados y probados en el laboratorio de acuerdo a las norma ASTM C-31 y C-39 o su equivalente NOM-C-83. Una prueba de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de dos cilindros hechos de la misma muestra de concreto y probados a los 28 días o a la edad de prueba designada para la determinación de f'c. El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto será satisfactorio si cumple con los requisitos siguientes:

- a) El promedio aritmético de cualesquiera de tres pruebas de resistencia consecutivas es igual o superior a la $f'c$ requerida.
- b) Ningún resultado individual de la prueba de resistencia (promedio de dos cilindros), es menor que $f'c$ por más de 35 kg/cm^2 .

Cuando no se cumpla con alguno de los requisitos anteriores, deberán tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de las pruebas de resistencia subsecuentes y asegurar que no se pone en peligro la estabilidad de la estructura.

Si se confirma que el concreto es de baja resistencia y los cálculos indican que la capacidad de carga se ha reducido significativamente, se puede recurrir a la extracción de corazones de las zonas dudosas, realizándose de acuerdo a la norma ASTM C-42 o su equivalente NOM-C-169. Si el concreto en condiciones de servicio está seco, los corazones se probarán secos, sino se humedecerán. El concreto de la zona representada por las pruebas de corazones se considera estructuralmente adecuado, si el promedio de tres corazones es por lo menos igual al 85 % de $f'c$ y ningún corazón tiene una resistencia menor de 75 % de $f'c$.

Si no se satisface lo anterior y hay dudas con respecto a la confiabilidad de las estructuras, el responsable de la obra puede ordenar una evaluación de la resistencia para la parte dudosa de la estructura y tomar las medidas necesarias.

4.5 PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA SUBSTANCIAS QUÍMICAS.

La durabilidad del concreto se define como la resistencia de la estructura a los efectos deteriorantes del medio ambiente. En particular, el concreto debe ser resistente a la acción de las sustancias químicas, humedad y secado alternados, congelación y deshielo, y exposición de agentes atmosféricos.

En algunas estructuras hidráulicas las partículas de arena o grava contenidas en agua corriente pueden erosionar las superficies, por lo que el uso de un concreto de alta calidad con un agregado duro, por lo general, dará una durabilidad adecuada.

En muchas zonas, el deterioro por congelamiento y deshielo puede ser más grave que el daño causado por la acción de sustancias químicas, por lo que para resistir esta situación se debe emplear un concreto de buena calidad con un aditivo inclusor de aire.

Un concreto elaborado con un cemento adecuado y que ha sido bien dosificado, mezclado, colado y curado, será denso, impermeable y resistirá la exposición de la mayoría de las sustancias químicas; por lo tanto, no requiere de ninguna protección contra un ataque químico. Asimismo, el refuerzo ahogado en concreto de buena calidad, normalmente se encuentra protegido contra la corrosión de sustancias químicas. Sin embargo, ningún concreto tiene resistencia a los ataques de ácidos fuertes, por lo que será necesario una protección especial.

El ataque a que se somete la superficie del concreto va desde exposiciones ligeras hasta severas, dependiendo del tipo de producto químico que se use y de las características del agua residual.

Generalmente, el concreto no es atacado por sustancias químicas secas y sólidas, sino que para deteriorarlo deben estar en solución y sobrepasar un determinado valor de concentración. Así mismo, el concreto es más vulnerable cuando se encuentra bajo el ataque de sustancias agresivas en solución ejerciendo presión sobre alguna de sus superficies, pues la presión tiende a forzar a que la solución agresiva entre en el concreto. En la Tabla 4.5 se muestra la velocidad de ataque de algunas sustancias químicas que comúnmente se encuentran en contacto con el concreto en las plantas de tratamiento de agua residual.

Tabla 4.5 Efecto en el concreto de sustancias químicas empleadas en las plantas de tratamiento.

Velocidad de ataque Temperatura amb.	Ácidos inorgánicos	Ácidos orgánicos	Soluciones alcalinas	Soluciones salinas	Varios
Rápida	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	—	Cloruro de aluminio	Nitrato de amoniaco
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de sodio 20 %	Nitrato de amonio Sulfato de amonio Sulfato de sodio Sulfato de magnesio Sulfato de calcio	Bromo (gas) Sulfito líquido
Lenta	Carbónico	—	Hidróxido de sodio 10 - 20 % Hipoclorito de sodio	Cloruro de amonio Cloruro de magnesio Cianuro de sodio	Cloro (gas) Agua de mar Agua dulce
Despreciable	—	Oxálico Tartárico	Hidróxido de sodio 10 % * Hipoclorito de sodio Hidróxido de amonio	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Nitrato de zinc Cromato de sodio	Amoniaco líquido

* Evítase el uso de agregados silíceos ya que son atacados por soluciones concentradas de hidróxido de sodio.
Fuente : ACI 201.2R-77

Sin embargo, debe considerarse que existen numerosos factores que influyen en la capacidad del concreto para aumentar o disminuir la deterioración como:

a) Factores que disminuyen su deterioro:

- * Temperaturas altas
- * Velocidades elevadas de flujo
- * Mala compactación del concreto
- * Curado defectuoso
- * Humedecimiento y secado cíclico
- * Corrosión del acero de refuerzo

b) Factores que aumentan su deterioro:

- ⇒ Menor relación agua - cemento
- ⇒ Tipo adecuado de cemento
- ⇒ Baja absorción
- ⇒ Baja permeabilidad

El ataque de sustancias químicas a el concreto es por lo general el resultado de su exposición a sulfatos o a ácidos.

4.5.1 ATAQUE POR SULFATOS.

Las sales que en estado sólido están naturalmente presentes en el suelo no atacan al concreto, pero cuando se encuentran disueltas en agua o contenidas en el agua residual pueden reaccionar con la pasta de cemento. De esta forma, al reaccionar el sulfato con el aluminato hidratado de calcio se produce: yeso y sulfoaluminatos de calcio, los cuales tienen un volumen mucho mayor

que los compuestos que reemplazan, de modo que la reacción provoca expansión y ruptura del concreto. El ataque de sulfatos al concreto tiene una apariencia blanquecina característica y el daño suele iniciarse en bordes y esquinas, y va seguido de agrietamiento y desgaste progresivo que reduce al concreto a un estado quebradizo y hasta suave.

Se puede lograr una protección contra el ataque de sulfatos usando un concreto denso de alta calidad, con un cemento que tenga la resistencia a los sulfatos requerida (Ver Tabla 4.1) y un recubrimiento suficiente del refuerzo. Se puede aumentar la esperanza de vida del concreto expuesto a los sulfatos reemplazando del 15 al 25 % del peso del cemento por puzolanas y con la inclusión de aire. Si se requiere una resistencia mayor del concreto al ataque de sulfatos, el contenido óptimo de aditivo mineral se debe dosificar mediante ensayos para determinar si el aditivo está mejorando las propiedades del concreto y la dosificación correcta, puesto que una sobredosificación o escasez puede ser nociva o no tener efecto.

La adición de cloruro de calcio al concreto reduce su resistencia al ataque de sulfatos, por lo que debe excluirse su uso si el concreto está sujeto a exposición moderada o severa.

4.5.2 ATAQUE POR ÁCIDOS .

En términos generales, el cemento no tiene resistencia al ataque de ácidos; sin embargo, puede tolerar algunos ácidos débiles. La deterioración del concreto causada por ácidos es principalmente el resultado de una reacción entre estas sustancias y el hidróxido de calcio del cemento hidratado. En la práctica, el ataque por ácidos se presenta con valores de pH inferiores a 6.5 y, para valores entre 3 y 6, la velocidad de ataque progresa proporcionalmente a la raíz cuadrada del tiempo.

A pesar de que el agua de los desagües domésticos es por sí misma alcalina y no ataca al concreto, se han observado graves daños, especialmente a temperaturas altas, en el tratamiento de aguas residuales en condiciones anaerobias debido a la producción de ácidos orgánicos que, si bien no degradan rápidamente al concreto, su ataque constante acaba por disolver el cemento, llegando a descubrir el acero de refuerzo y provocar la corrosión del mismo.

La resistencia del concreto contra los ataques químicos se incrementa si se le permite fraguar antes de exponerlo, pues se forma una película de carbonato de calcio que bloquea los poros y reduce la permeabilidad de la superficie. Un concreto denso con una relación agua-cemento baja puede proporcionar una protección aceptable contra un ataque moderado de ácidos, pero para resistir el ataque provocado por un agua con alta concentración de ácidos será necesario utilizar un recubrimiento de acuerdo a lo que se menciona a continuación.

4.5.3 RECUBRIMIENTOS PARA AUMENTAR LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.

Con la finalidad de incrementar la vida útil del concreto, en los últimos años ha aumentado el uso de recubrimientos; sin embargo, su empleo requiere conocer perfectamente sus ventajas y limitaciones, recomendándose probarlos antes de aplicarlos para asegurar que tienen las características deseadas.

El tipo de protección para resistir el ataque de productos químicos varía de acuerdo a su tipo y concentración, la frecuencia del contacto, y las condiciones físicas como temperatura, presión,

desgaste mecánico y ciclos de congelación y deshielo. En general, los productos químicos usados en las plantas de tratamiento de agua residual se pueden dividir en tres grupos en función del tipo de recubrimiento que requiere el concreto en los sitios de almacenaje, manejo y aplicación de la sustancia. Ver Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Tipo de protección del concreto ante productos químicos

GRUPO	TRATAMIENTO DEL CONCRETO	PRODUCTOS QUÍMICOS
I	Estos productos químicos no se consideran dañinos para el concreto, pero se mencionan porque, en algunos casos, se desea aplicar un tratamiento para evitar las manchas o se debe evitar la absorción del líquido en el concreto ya que, en un futuro, puede reaccionar con otros productos químicos.	<ul style="list-style-type: none"> * Bicarbonato de sodio (+) * Carbón activado (cuando se agita se considera en el grupo 3) * Carbonato de sodio * Fosfato trisódico * Hidróxido de calcio * Hidróxido de sodio (en concentraciones mayores a 20 %, se ubica en el grupo 3) * Óxido de calcio * Permanganato de potasio * Silice activado (cuando se agita se considera en el grupo 3) * Silicato de sodio * Fluoruro de silicón sódico * Fluoruro de sodio
II	El concreto expuesto a alguno de estos productos químicos debe prepararse con cemento resistente a los sulfatos o revestirse con una capa protectora.	<ul style="list-style-type: none"> * Sulfato de cobre * Sulfato férrico
III	El concreto se debe proteger contra estos productos químicos con un recubrimiento protector de tipo termoplástico o termofraguantes (polímeros), cerámicas, morteros resistentes al ataque químico y películas o materiales de recubrimiento compuestos.	<ul style="list-style-type: none"> * Carbón activado (si no hay agitación se considera en el grupo 1) * Silice activado (cuando no hay agitación se considera en el grupo 1) * Ácido sulfúrico * Ácido fluosilícico * Alumbre líquido * Bisulfato de sodio * Cloro * Cloruro férrico * Hidróxido de sodio (concentración mayor del 20 %) * Hipocloruro de calcio * Solución de cloruro de aluminio * Sulfato de aluminio * Sulfato de aluminio amoniacal * Sulfato de amonio * Sulfato de potasio y aluminio

* Precaución con respecto a la reacción alcali - agregado
Fuente: ACI 350-89.

En la Tabla 4.7 se presentan algunos recubrimientos que pueden aplicarse para diferentes propósitos y condiciones ambientales. En general, se puede decir que:

a) Para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. El concreto empleado en este tipo de plantas generalmente no requiere de protección especial ya que las concentraciones normales de productos químicos usadas no lo afectan.

b) Para plantas de tratamiento de aguas industriales. Algunas veces el tratamiento de desechos industriales involucra sustancias agresivas, por lo que se emplea un mortero resistente al ataque químico, ladrillos o mosaicos resistentes a ácido, recubrimientos bituminosos gruesos, epóxicos o

láminas de caucho o plástico. La utilización de concretos polimerizados o impregnados con polimeros se emplea para impermeabilizar y proporcionar una mayor resistencia al ataque de agentes agresivos; sin embargo, hasta donde se sabe, no se ha empleado en México (ACI 350-89).

Tabla 4.7 Materiales de recubrimiento para concreto en diferentes condiciones ambientales.

Clase	Tipo y espesor del recubrimiento	Materiales	Tipo de medio ambiente o propósito del revestimiento
I	Repelente del agua superficial menos de 5 ml (0.13 mm)	Aceite de linaza, butiral polivinílico, silicones.	Repeler el agua. Sellado superficial. Protección contra sales descongelantes.
II	Plásticos y elastoméricos de 5 a 50 ml (0.13 a 1.3 mm)	Epoxi, poliuretano, asfalto, alquitrán de carbón, hule clorinado, laca de vinil, recubrimientos fenólicos.	Mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo. Sellado de la superficie, protección al concreto contra soluciones que tengan un pH hasta de 3.
III	Plásticos y elastoméricos de 50 a 250 ml (1.3 a 6.4 mm)	Epoxi reforzado con vidrio, poliéster reforzado con vidrio, láminas de neopreno, neopreno rociado.	Protección de tanques de concreto expuestos constantemente a ácidos orgánicos y minerales diluidos hasta 70 °C.
		Epoxi con relleno de arena, poliéster con relleno de arena, hule clorinado.	Protección de pisos de concreto eventualmente expuestos a la acción de ácidos diluidos.
IV	Sistemas compuestos con más de 250 ml (6.4 mm)	Membranas de asfalto cubiertas con loseta a prueba de ácidos, ladrillos colocados con mortero resistente a substancias químicas.	Protección de los pisos de concreto contra ácidos concentrados o contra combinaciones de ácido y solventes. Efectiva para líquidos hasta 100 °C.

Fuente: ACI 201.2R-77

a) Repelentes del agua superficial. Este tratamiento es de bajo costo y proporciona cierta protección al concreto sin aire incluido; o da protección adicional cuando el concreto con aire incluido va a estar sujeto a la acción de sales descongelantes después de su colocación.

Se ha observado que el mejor material es el aceite de linaza, si se toma en cuenta la eficiencia y el costo. Por lo general se emplea una mezcla de 50 % de aceite de linaza y 50 % de aceite mineral. Se debe usar en dos capas que se aplican al estar el concreto limpio y seco y se estima que cubrirán 8.7 m²/l en la primera aplicación y 14.3 m²/l en la segunda. Sin embargo, como el concreto tiene porosidades diferentes, el rendimiento de la aplicación se debe determinar probando una franja. Es necesario evitar que la capa sea muy ligera o muy gruesa, ya que ambas son poco eficientes para prevenir el descascamiento. Este tratamiento proporciona protección durante un periodo de 1 a 3 años, después del cual, si es necesario, debe hacerse otra aplicación (ACI 201.2R-77).

Asimismo, se ha utilizado un tratamiento a base de silicón en muros de concreto o de mampostería para evitar la penetración de humedad que afecte la durabilidad. Este tratamiento protege al material por un periodo de 1 a 5 años; sin embargo, no siempre se han obtenido buenos resultados, ya que el silicón se oxida por el ozono de la atmósfera y es soluble en agua.

b) Recubrimientos plásticos y elastoméricos. Estos recubrimientos forman una película continua y resistente sobre la superficie del concreto y deben tener las siguientes propiedades básicas:

1. La resistencia adhesiva del recubrimiento debe ser al menos igual a la resistencia a la tensión del concreto en la superficie.

2. La resistencia a la abrasión debe ser la indicada para evitar que el recubrimiento se desprenda.
3. En caso de encontrarse en un medio ambiente con sustancias químicas, éstas no deben provocar cambios volumétricos, disoluciones, agrietamientos o debilitamientos (fragilidad) del material de recubrimiento. Tampoco debe permitir que las sustancias químicas penetren o se difundan a través del recubrimiento de forma que destruyan su adhesión con el concreto.

El tipo y espesor de un recubrimiento se selecciona atendiendo principalmente a la clase de ambiente y a su agresividad o severidad, por lo que la experiencia que se tenga sobre ellos es primordial. Ya que no se dispone de métodos de prueba estandarizados, lo mejor será someter el recubrimiento a las condiciones ambientales a las que estará sujeto cuando entre en servicio. Si se debe seleccionar un recubrimiento antes de que haya habido tiempo suficiente para probarlo (de 6 meses mínimo), se deberá pedir al fabricante o distribuidor que proporcione ejemplos bien documentados de que su recubrimiento ha proporcionado protección al concreto en condiciones ambientales iguales o similares. La selección de un buen proveedor de recubrimientos es tan importante como el recubrimiento mismo.

Para entender el comportamiento de un recubrimiento plástico o elastomérico es necesario no considerar al recubrimiento como un material aislado, sino como parte de un sistema. En la Figura 4.2 se muestran los elementos de un sistema de recubrimiento y en seguida se explican.

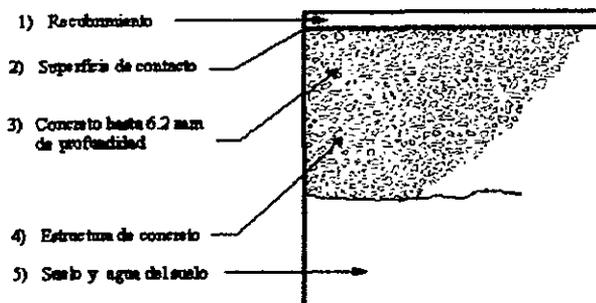


Figura 4.2 Elementos de un sistema de recubrimiento para concreto.

Superficie de contacto entre el recubrimiento y el concreto. Como la mayoría de los recubrimientos desarrollan una resistencia de adherencia mayor que los esfuerzos de tensión del concreto, para asegurar la adherencia entre ambos materiales sólo se debe verificar que el recubrimiento se aplique sobre una superficie libre de: 1) partículas de tierra y suciedad; 2) grasas u otras sustancias químicas que dificulten la adhesión; y 3) agua. En caso de que la superficie no se encuentre limpia, se puede limpiar utilizando soluciones alcalinas, ácidas o chorro de arena. Si estos métodos no dan buenos resultados, se puede remover todo el material contaminado por medio de un escarificador o martillo neumático. Existen algunos recubrimientos que se adhieren a superficies húmedas, pero su adherencia a largo plazo es cuestionable.

No sólo el agua superficial provoca problemas, sino la humedad que se encuentra dentro del concreto puede condensarse en la superficie del mismo antes de que el recubrimiento se haya curado y afectar la adherencia de ambos materiales. Desafortunadamente no existen indicadores precisos que permitan saber cuando se presentará este problema, pero se dispone de la siguiente prueba cualitativa para determinar la humedad en el concreto:

1. Sobre la superficie del concreto se fija con cinta adhesiva una película de polietileno de 1.25 m x 1.25 m y de 0.15 mm de espesor.
2. Después de 12 horas de estar colocada, se determina si en su cara interior se ha condensado humedad (tiempo que requieren muchos recubrimientos para lograr un curado del 30 %).
3. Si se nota condensación, se requiere mayor secado del concreto. Después se realiza otra prueba para determinar si la humedad ha disminuido hasta un nivel aceptable para aplicar el recubrimiento.

Otro problema que se presenta es la presencia de burbujas de aire, fisuras o grietas en la superficie del concreto que impiden que el recubrimiento forme una película continua y sin fallas. Cuando esto sucede, se debe cubrir la superficie con un mortero tixotrópico plástico de alta densidad que rellene estos defectos o realizar un tratamiento superficial a base de tres aplicaciones de silico-fluorides que cierre las fisuras del concreto y lo endurezca superficialmente. Estos productos se pueden obtener con los proveedores de recubrimiento y deben ser compatibles con los recubrimientos que se vayan a utilizar (ACI 201.2-R77).

Superficie de concreto. Si cuando se desprende el recubrimiento, una capa de concreto se adhiere a él, significa que el concreto superficial falló porque los esfuerzos a tensión aplicados eran mayores a su resistencia. Esta debilidad del concreto puede ser causada por la formación de nata sobre la superficie, por un curado inadecuado o porque haya sido trabajado en exceso durante el proceso de acabado, debiendo evitar estas situaciones.

Precauciones para disminuir los daños producidos por el congelamiento y deshielo cuando se usan recubrimientos. Los recubrimientos deben emplearse con toda clase de precauciones, especialmente en losas o muros continuamente expuestos a la humedad en su cara posterior, ya que el uso indiscriminado de recubrimientos impermeables puede atrapar el agua dentro del concreto y afectar su durabilidad debido a la acción del congelamiento. Por lo anterior se recomienda el uso de recubrimientos que eviten la penetración de agua adicional, al tiempo que permiten que el concreto “respire”, dejando que escape el vapor de agua en exceso.

Medidas de seguridad. Es conveniente conocer la toxicidad de cualquier producto que se piense emplear como recubrimiento del concreto e investigar los requerimientos que se necesitan para su aplicación como: ventilación y equipo de seguridad durante su manipulación (guantes de hule, gafas de seguridad, mascarillas, etc.).

4.6 PROTECCIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS Y EQUIPOS.

Generalmente el concreto proporciona a los materiales ahogados en él una protección adecuada contra el medio ambiente y productos químicos que se presentan en las plantas de tratamiento. Esta protección es función de la calidad y espesor del recubrimiento de concreto, y de seguir buenas prácticas constructivas. Sin embargo, a pesar de la protección que usualmente proporciona el concreto, se ha reportado un número desconcertante de casos en los cuales la corrosión de materiales ahogados requiere incurrir en gastos fuertes por concepto de reparación y mantenimiento (Murillo Fernández, 1991), por lo que a continuación se mencionan algunos cuidados que se puedan dar a estos elementos para protegerlos de esta situación.

4.6.1 PROTECCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO Y DE MATERIALES AHOGADOS.

Cuando el concreto que cubre el acero de refuerzo y los elementos ahogados se ha deteriorado por la acción de productos químicos, congelamiento o cualquier otra causa, se observa que el concreto estará agrietado o debilitado y, en consecuencia, habrá perdido su capacidad para protegerlos. En estos casos, los elementos ahogados presentarán corrosión, siendo sus principales causas y características:

Acero. En las primeras etapas de la corrosión, los poros del concreto y los agrietamientos superficiales presentan manchas causadas por el óxido. Posteriormente, existe un agrietamiento mayor en dirección paralela al refuerzo y una pérdida de adherencia entre el concreto y el acero. En casos avanzados se forman escamas en el concreto que pueden llegar al acero de refuerzo.

Aluminio. Cuando el concreto contiene acero en contacto con aluminio, existen cloruros en concentraciones apreciables o el cemento tiene un alto contenido de álcalis se puede corroer el aluminio y, en consecuencia, agrietar el concreto.

Plomo. Puede ser atacado por el hidróxido de calcio presente en el concreto hasta destruirlo.

Cobre. La corrosión se presenta cuando está expuesto al amoniaco o a nitratos.

Otra causa de corrosión de los elementos metálicos ahogados es la presencia de una corriente eléctrica de origen externo o por diferencias de potencial eléctrico propias del concreto debidas a diferentes contenidos de humedad. Así mismo, el contacto entre diferentes metales también provoca corrosión. Por tales motivos, no se deben utilizar estos elementos para proporcionar "tierra" al equipo eléctrico ni poner en contacto diferentes metales.

Las aguas residuales concentran sales, principal enemigo de los materiales antes citados ya que ocasionan su corrosión, por lo que se debe procurar obtener un concreto de baja permeabilidad mediante relaciones agua-cemento bajas, utilizando agregados bien graduados e inclusores de aire, y una compactación y curado adecuado. Además, se recomienda incrementar en 1.3 cm el recubrimiento del acero de refuerzo y de los elementos ahogados con la finalidad de aumentar la protección que ofrece el concreto y evitar que quedan expuestos a las aguas residuales o al ambiente (ACI 201.2R-77). Cuando la ubicación de la planta sea en antiguas llanuras de inundación o suelos salinos, también debe incrementarse el recubrimiento exterior del acero para evitar su corrosión por ácidos orgánicos o sales contenidas en el suelo.

Los métodos de protección de estos elementos que se han practicado con mayor éxito consisten en recubrirlos con una capa epóxica o con algún material bituminoso plástico (ACI 201.2R-77).

4.6.2 PROTECCIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS EXPUESTOS Y EQUIPOS.

Las partes metálicas como tuberías, válvulas, escaleras marinas, rejillas, equipo mecánico, etc., son objeto de un intenso ataque por corrosión, por lo que las conducciones deben enterrarse, si el suelo no es agresivo; y todos los elementos metálicos deben protegerse con primario y pintura anticorrosiva. Otra alternativa es limpiar el hierro y acero con chorro de arena y aplicar tres manos de recubrimiento epóxico con alquitrán de hulla. Cuando la corrosión se ha iniciado, será muy difícil detenerla, por lo que es más conveniente hacer una inversión importante inicial, que muchos gastos pequeños frecuentes que no resuelven la situación.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO IV.

ACI Manual of Concrete Practice. (1993). "350 Environmental Engineering Concrete Structures ACI. 350 R - 89". *Part 4. Bridges, Substructures, Sanitary and other Special Structures. Structural Properties.*

Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez, Max. (1996). "Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Ilustrado y Comentado". *Editorial Trillas, S.A. de C. V. México, D.F.*

Enriquez Martínez de Velasco, José Miguel. (1997). "Elaboración de Procedimientos de precolocación, colocación, postcolocación y reparación del concreto para incorporación de una empresa constructora a la ISO 9000". *Tesina Diplomado en Obras de Concreto, IMCYC y División de Educación Continua de la Facultad de Arquitectura, UNAM. Julio de 1997, México, D.F.*

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. (1992). "Manual para supervisar obras de concreto". *Agosto de 1992. México, D.F.*

Kosmatka, Steven H. y Panarese, William C. (1992). "Diseño y control de mezclas de concreto". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Agosto de 1992. México, D.F.

Merrit, Frederick S. (1995). "Manual del Ingeniero Civil. Tomo IV". *McGraw Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V. México, D.F.*

Murillo Fernández, Rodrigo (1991). "Obra civil de plantas de tratamiento: factores que afectan el funcionamiento" *Revista de Ingeniería Ambiental. Enero de 1991. Año 4. No. 9. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C. Sección Mexicana de la AIDIS. Pags. 6 - 18.*

Pérez Escobar, Rubisel. (1997). "Guía para el Supervisor de Obras de Concreto". *Tesina Diplomado en Obras de Concreto, IMCYC y División de Educación Continua de la Facultad de Arquitectura, UNAM. Marzo 1993. México, D.F.*

Romero Álvarez, Humberto, García Ollervides, Jesús y Janetti Dávila, Juan (1996). "Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México" *Revista de Ingeniería Civil. Octubre de 1996. Número 330. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C. Ingeniería Sanitaria. Pags. 12 - 18.*

Saucedo Maciel, Alberto (1993). "Factores técnicos que afectan el funcionamiento en plantas de tratamiento de agua residual para conjuntos habitacionales", *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.*

Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute, ACI)

201.2R-77 (Ratificado en 1982)

Durabilidad del concreto. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

211.1-81 (Revisado en 1993)

Proporcionamiento de mezclas. Concreto normal, pesado y masivo. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

301-89 (Revisado en 1988)

Especificaciones para el concreto estructural en edificios. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

302.IR-92 (Revisado en 1989)

Construcción de losas y pisos de concreto. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

318R-95 (Ratificado en 1995)

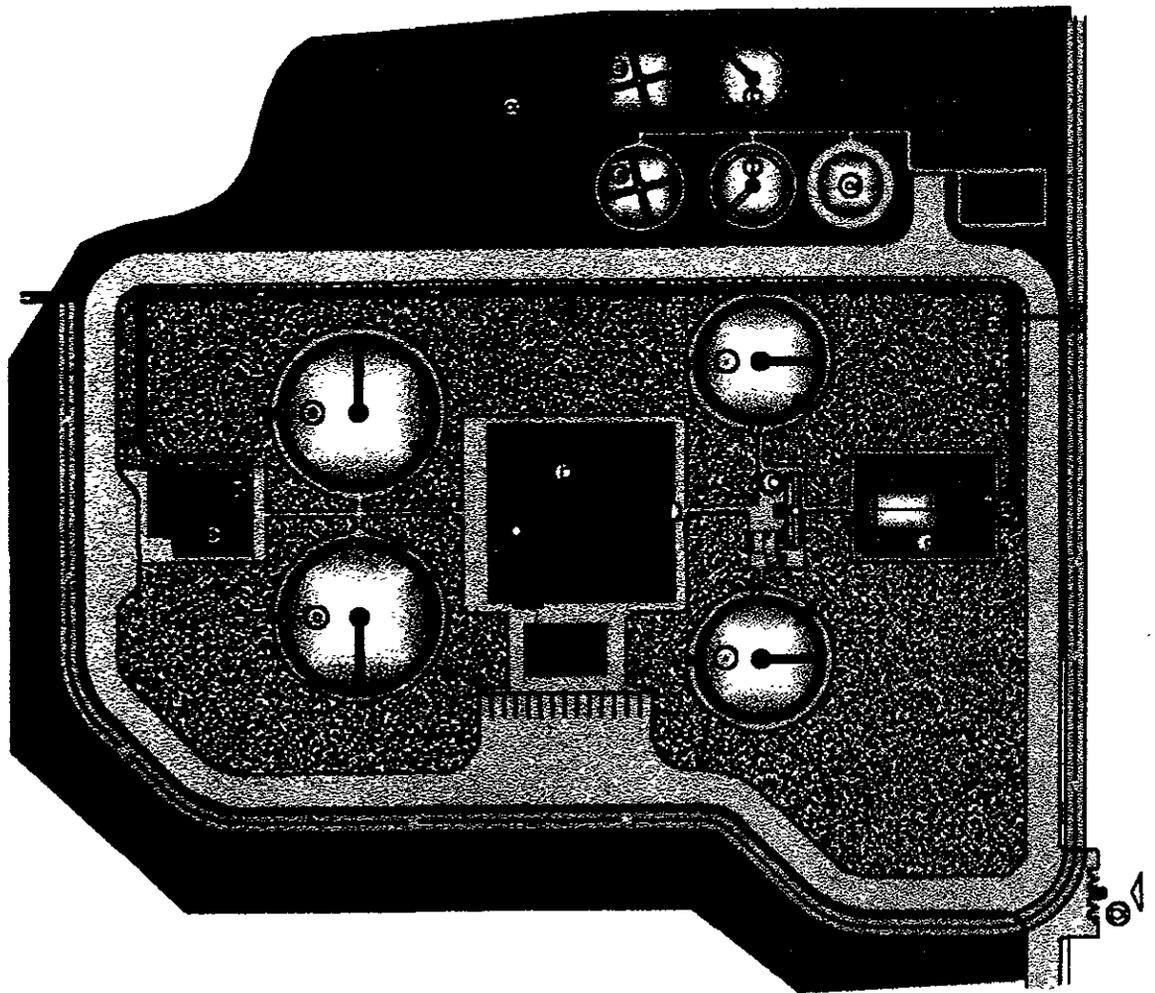
Reglamento de las construcciones de concreto reforzado y comentarios. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

350R-89 (Ratificado en 1992)

Estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.



CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Después de recibir la aprobación del diseño de una planta de tratamiento se puede comenzar la etapa de construcción, la cual se debe planear para evitar retrasos y asegurar la calidad especificada. En la planeación se deben establecer los objetivos por alcanzar (rendimientos, presupuestos asignados, etc.), los procedimientos, el programa de actividades y las normas o reglamentos por seguir. Las herramientas más empleadas para llevar a cabo la planeación son la programación mediante gráficas de barras rectangulares o de Gantt y el método de la ruta crítica.

La programación mediante gráficas de Gantt consiste en una gráfica de barras rectangulares que muestra las fechas de inicio y terminación de cada partida de trabajo, indicando las partidas en las que se empalma el trabajo; las partidas que traslapan a otras y por qué cantidad; y las partidas que deben quedar terminadas antes de empezar otras.

El método de la ruta crítica consiste en dividir en forma detallada las actividades de la construcción y graficarlas o enlistarlas de manera que se muestren todas las relaciones secuenciales, resaltando las operaciones cuyas fechas de terminación establecen la duración total de la construcción para poder asignar un orden adecuado a cada actividad. En la Tabla 5.1 se presentan las principales etapas constructivas; sin embargo, estos pasos no son únicos, ni necesariamente deben seguir este orden.

Tabla 5.1 Etapas para la construcción de una planta de tratamiento.

1. Deshierbe y limpieza del terreno.
2. Despalme de la capa superficial del suelo.
3. Trazo y nivelación del terreno.
4. Montaje de instalaciones provisionales (almacén, suministros de servicios y accesos).
5. Cimentación.
 - a) Excavación.
 - b) Plantilla de concreto.
 - c) Acarreos.
 - d) Relleno y compactación.
 - e) Colocación de instalaciones subterráneas.
6. Construcción de estructuras del proceso de tratamiento (tanques y depósitos).
 - a) Cimbrado.
 - b) Habilitado de acero.
 - c) Colado del concreto.
 - d) Descimbrado.
7. Montaje de equipos e instrumentos.
8. Construcción de instalaciones auxiliares:
 - a) Laboratorios.
 - b) Oficinas administrativas.
 - c) Edificios de servicios como: subestación eléctrica, almacenes, etc.

Tabla 5.1 Etapas para la construcción de una planta de tratamiento (Continuación).

<p>9. Instalación de servicios públicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Electricidad. b) Agua. c) Drenaje. d) Teléfono. <p>10. Construcciones para controlar el acceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Caseta de control. b) Cerca perimetral. c) Cerca de entrada. <p>11. Acabados.</p> <p>12. Preparación de los documentos de construcción definitivos. (Continuamente se realiza durante la construcción).</p>

Los métodos y el orden seleccionados para llevar a cabo la construcción afectan en forma notable el comportamiento de las estructuras del sistema de tratamiento por lo que, los procedimientos y secuencias de ejecución deben ser especificados claramente. Una adecuada planeación y comunicación entre diseñadores y constructores favorece el resultado final, reduciendo al mínimo las situaciones imprevistas que pueden perjudicar la operación de la planta de tratamiento.

Debido a que el proceso constructivo es un trabajo sensible a las condiciones meteorológicas, disponibilidad de mano de obra calificada, y a la calidad y manejo de los materiales, en este capítulo se hace una descripción de las actividades constructivas con mayor influencia en el comportamiento futuro de las estructuras, así como algunas recomendaciones para lograr que éstas sean durables, funcionales y económicas.

5.1 EXCAVACIONES.

Las excavaciones en suelos deformables se deben realizar siguiendo un orden que permita llevar a cabo la descarga del suelo en forma uniforme y simétrica, ya que, cuando esto no se realiza, se pueden presentar expansiones mayores en las zonas que fueron excavadas primero y, como consecuencia, que existan hundimientos diferenciales. De igual manera, se recomienda que la construcción sea uniforme y simétrica para que el suelo sea cargado de esta forma.

Los períodos de ejecución de excavaciones determinados por los análisis de asentamientos y expansiones deben ser rígidamente observados, pues su falta de cumplimiento puede provocar deformaciones indeseables. La presencia de grietas en esta fase de construcción refleja problemas de estabilidad en un futuro próximo; además, el riesgo de falla se incrementa cuando hay aportación de agua hacia ellas, por lo que, en excavaciones inferiores al nivel de aguas freáticas, es importante estudiar el método y tiempo de aplicación del bombeo, con la finalidad de conservar secas y estables las áreas de trabajo, reducir las expansiones y facilitar la maniobras.

En suelos gruesos con niveles freáticos superiores al fondo de la excavación, pueden presentarse infiltración de importancia y, bajo algunas situaciones, aportación de arenas finas que desgastan los equipos de pretratamiento, por lo que se debe prever esta situación (Murillo, 1991).

En general, los asentamientos en suelos compresibles se producen durante la construcción; sin embargo, hay casos en que éstos continúan durante meses e incluso años, por lo que las estructuras donde se presenta esta situación deben ser las primeras en construirse.

En zanjas con profundidad superior a 1.5 m se recomienda realizar un análisis de la estabilidad del talud en función del ángulo de reposo del material y de las cargas que se van a presentar, para determinar su pendiente y, en su caso, la necesidad de bermas o apuntalamientos. Las excavaciones en terrenos inestables se deben revestir y apuntalar con el fin de evitar hundimientos y desplomes de las paredes. Es importante dar atención especial a la estabilidad de excavaciones, ya que el colapso de los taludes puede traer graves consecuencia, pues pone en peligro a los trabajadores; implica un aumento del costo de construcción, y modifica el estado de esfuerzos del suelo y, por lo tanto, el comportamiento final de las estructuras.

5.2 CIMBRADO.

La cimbra tiene la finalidad de confinar al concreto fresco para dar a los elementos de la estructura la forma, posición, dimensión y acabados requeridos. Para realizar estructuras de calidad, se debe buscar que las cimbras sean :

- ⇒ Resistentes a las cargas que van a soportar.
- ⇒ Rígidas para que conserven la forma, dimensión y posición deseada.
- ⇒ Estancas para evitar la pérdida de mortero concreto.
- ⇒ Den fidelidad a los acabados que transmitan al concreto.
- ⇒ Prácticas para que sean de fácil armado y colocación.

Las cimbras se deben diseñar para que cumplan con la calidad, seguridad y economía establecida, teniendo en mente que éstas soportarán todas las cargas que se apliquen sobre ellas hasta que puedan ser tomadas por la estructura. Las cargas de diseño incluyen:

- ⇒ Verticales: peso propio de cimbra y estructura antes del fraguado, componentes de cargas excéntricas, vibración y carga viva.
- ⇒ Horizontales: viento, sismo, componente de carga viva, y presión lateral del concreto y vibrado.

5.2.1 MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CIMBRAS.

La selección de los materiales con que se construyen los elementos que conforman la cimbra (Ver Tabla 5.2) se basa en la economía (reutilización, y costos por adquisición y uso), siendo consistente con la seguridad durante el colado y la calidad que requiere el trabajo terminado. Este último punto es de gran importancia en los elementos que están en contacto con fluidos, pues requieren que la rugosidad de la superficie sea mínima para que las pérdidas de carga hidráulica debidas a la fricción sean pequeñas. Para dar al concreto una superficie lisa se puede emplear cimbra de contacto a base de triplay, fibracel o lámina metálica.

Tabla 5.2 Elementos que componen la cimbra.

ELEMENTO DE LA CIMBRA	FUNCIÓN
Cimbra de contacto	Es la superficie que está en contacto con el concreto. Facilita la remoción de la cimbra y proporciona acabados al concreto.
Obra falsa	Sirve de apoyo a la cimbra de contacto.
Separadores, anclajes y sujetadores	Para sostener la cimbra contra presión activa del concreto recién colado.
Chaflanes	Facilita el descimbrado, evita fugas de lechada y crea extremos biselados.
Vigas y puntales	Soporte de la cimbra.
Aislantes de cimbra	Protege al concreto en climas fríos.

Fuente: Adaptado del ACI 301. 1988.

5.2.2 TOLERANCIA PARA SUPERFICIES CIMBRADAS.

Debido a que las plantas de tratamiento cuentan con unidades que requieren de exactitud en su construcción (aforadores Parshall, vertedores, etc.), se recomienda una estricta vigilancia en la elaboración de la cimbra, de modo que las superficies de concreto se encuentren dentro de los límites de tolerancia enlistados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Tolerancias para superficies cimbradas.

1. Variaciones del plomo A. En líneas y superficies de columnas En 3 m de longitud Máximo en toda la longitud B. Para esquinas de columnas expuestas, ranuras de control de vigas y otras líneas conspicuas En 6 m de longitud Máximo en toda la longitud	6 mm 25 mm 6 mm 13 mm
2. Variaciones de nivel o cotas especificadas en los documentos del contrato. A. En el techo bajo de losas y trabes, techos y en aristas medidas antes de quitar los puntales de soporte En 3 m de longitud En cualquier claro o en una longitud de 6 m Máximo en toda la longitud B. En trabe superior de ventanas que estén expuestas, travesaños, parapetos, vigas horizontales y otras líneas conspicuas En cualquier claro o en una longitud de 6 m Máximo en toda la longitud	6 mm 10 mm 19 mm 6 mm 13 mm
3. Variaciones en los ejes de construcción a partir de una posición establecida en planta y la posición relativa de columnas, muros y muros divisorios. En cualquier claro En 6 m de longitud Máximo en toda la longitud	13 mm 13 mm 25 mm
4. Variación en los tamaños y posición de manguetería, aberturas del piso y aberturas de los muros.	± 6 mm
5. Variaciones en las dimensiones transversales de columnas y vigas y en el espesor de las losas y muros. Menos Más	6 mm 13 mm
6. Zapatas. * A. Variaciones en las dimensiones en planta Menos Más B. Mala colocación o excentricidades del 2 % del ancho de zapata en la dirección de la mala colocación C. Espesor Disminución del espesor señalado Aumento del espesor señalado	6 mm 25 mm 51 mm 5 % s/límite
7. Variaciones en los escalones. A. En un tramo de escaleras Peraite Huella B. En escalones consecutivos Peraite Huella	± 3 mm ± 6 mm ± 2 mm ± 3 mm

* Las tolerancias se aplican a las dimensiones del concreto solamente, no a la posición del acero de refuerzo vertical o elementos ahogados.
 Fuente: Adaptado del ACI 301, 1988.

Para lograr las tolerancias especificadas, la cimbra se puede contraflechar a fin de compensar su deflexión antes de que fragüe el concreto. Se recomienda colocar suficientes puntos de control y marcas que se usen como referencia para revisar las tolerancias.

5.2.3 DESCIMBRADO .

La cimbra y los puntales se deben construir de modo que se quiten en forma fácil, segura y sin impacto, a fin de que el concreto vaya tomando la carga de manera gradual y uniforme.

El diseñador debe especificar la resistencia mínima que debe alcanzar el concreto para poder retirar la cimbra y los puntales que lo soportan; la cual no será menor de 70 % la resistencia de diseño. La resistencia que posee el concreto colado se determina al probar cilindros curados en campo bajo las mismas condiciones que el concreto que representan. En caso de que no se especifique una resistencia mínima requerida en el concreto para realizar el descimbrado, en condiciones comunes y corrientes pueden usarse los períodos de tiempo que se proporcionan en la Tabla 5.4, cuidando que no se modifique la forma de trabajo del elemento estructural.

Tabla 5.4 Tiempos mínimos requeridos para realizar el descimbrado.

Elemento estructural	Tiempo	
	C. V. >C. M.	C. V. < C. M.
Vertical (muros, columnas y costados de trabes)	12 hrs	
Horizontal	C. V. >C. M.	C. V. < C. M.
Plafones de viguetas, vigas o trabes		
Menos de 3.0 m de claro entre los apoyos estructurales	4 días	7 días
De 3.0 a 6.0 m de claro entre los apoyos estructurales	7 días	14 días
Más de 6.0 m de claro entre los apoyos estructurales	14 días	21 días
Losas para pisos armadas en una dirección		
Menos de 3.0 m de claro entre los apoyos estructurales	3 días	4 días
De 3.0 a 6.0 m de claro entre los apoyos estructurales	4 días	7 días
Más de 6.0 m de claro entre los apoyos estructurales	7 días	10 días

Fuente : Adaptado de Zubieta Rohde, 1997.

C.V. : Carga viva estructural

C.M : Carga muerta estructural

Los tiempos señalados representan un número acumulado de días u horas, no necesariamente consecutivos, durante los cuales se ha curado el concreto. Si la temperatura atmosférica es superior a 32°C o si se usa concreto de temprana o alta resistencia, estos períodos se pueden reducir conforme lo apruebe el ingeniero. Inversamente, si la temperatura permanece por debajo de los 10°C o si se usan agentes retardantes, estos períodos deben incrementarse (ACI 302R-91).

Como regla general, la cimbra de columnas, laterales de vigas, muros y cualquier otra parte que no soporte algún peso se puede retirar tan pronto como el concreto resista los daños que ocasiona el descimbrado. De igual manera, cuando se requiera reparar algún defecto o dar un tratamiento a las superficies en una etapa temprana, la cimbra se debe quitar tan pronto como el concreto resista el descimbrado e inmediatamente se realiza la reparación y se inicia el curado del concreto. La cimbra superior de superficies que estén en pendiente deben quitarse tan pronto como el concreto tenga la rigidez suficiente para evitar el escurrimiento. Si la cimbra se quita antes de que el curado se complete, se debe continuar el curado y proteger térmicamente al concreto.

En climas cálidos y secos, las cimbras que permanecen en su lugar no proporcionan un buen curado, así que se deben quitar o aflojar para que la superficie del concreto se mantenga húmeda o cubierta con una membrana de curado. En climas fríos se debe retrasar el descimbrado y proteger al concreto hasta que alcance una resistencia adecuada, o reemplazar la cimbra por mantas aislante a fin de evitar un choque térmico, y en consecuencia, que se agriete la superficie del concreto.

5.2.4 INSPECCIÓN DE LA CIMBRA .

a) Antes de realizar el colado del concreto se debe vigilar que:

1. La cimbra de contacto dé el acabado requerido de acuerdo al tipo de superficie, ya sea:
 - Superficie A : resistencia mínima al flujo.
 - Superficie B : para recibir aplanado o yeso.
 - Superficie C : aparente.
 - Superficie D : nunca expuesta a la vista.
2. La geometría cumpla con: localización y ángulos respecto a los ejes de planos, dimensiones, posición, plomo, nivel, contraflecha y, en su caso, con chaflanes.
3. La superficie de contacto esté limpia de lechada, tierra y cualquier material ajeno.
4. La cimbra de contacto esté cubierta con el agente desmoldante indicado, en cantidad adecuada y distribuido uniformemente para evitar la adherencia con el concreto y prevenir absorción de humedad.
5. Si se aplica a la superficie del concreto tratamientos especiales como recubrimientos para protegerlo de sustancias químicas o impermeabilizantes, se debe verificar que su adherencia sea compatible con el uso de selladores o agentes desmoldantes y que su colocación se realice de acuerdo a las recomendaciones del proveedor.
6. La resistencia del terreno sea suficiente para evitar penetración de los apoyos de la cimbra.
7. Los puntales, polines, cuñas, contravientos, troqueles y separadores tengan la dimensión y posición adecuada, y estén fijos firmemente y en cantidad suficiente.
8. La deflexión de la cimbra sea menor a 1/240 veces el claro y que exista la contraflecha requerida antes del fraguado del concreto.
9. Los pasos y huecos tengan la posición, tamaño y refuerzo requerido.
10. Los elementos ahogados se encuentren en la posición marcada en planos y bien sujetos.
11. La cimbra sea estanca, detectando fugas a contraluz o en casos más estrictos realizando la prueba de agua.
12. Se cuente con ventanas en las cimbras de columnas, muros y donde sea necesario, para facilitar la limpieza antes del colado y para poder realizar el vibrado.
13. Tener una planeación del proceso de colado sobre una copia del plano, contemplando la localización de juntas.

b) Durante el colado del concreto se debe vigilar que:

1. Se tenga un registro de la planeación del colado, como el que se muestra en Anexo E.
2. Se cuente con carpinteros de guardia y la herramienta necesaria para realizar alguna reparación
3. La superficie donde se realice el colado esté limpia y tenga la humedad requerida.
4. La velocidad de colocación sea adecuada para cumplir con el tiempo de colado.
5. El tiempo de vibrado sea suficiente.
6. Se vigile el comportamiento de los niveles, contraflechas y plomos de la cimbra.
7. Se vayan reajustando los puntales conforme avanza el colado.
8. Se dé el acabado requerido a la superficie del concreto, ya sea: arañado, pulido, allanado, escobillado, firme de uso pesado, sacudida en seco, antiderrapante o agregado expuesto.
9. En caso de que así lo especifiquen los documentos de diseño, se de inicio al curado.
10. Se cierre el registro al terminar el colado.

c) Después de colocar el concreto se debe vigilar que:

1. El curado no se interrumpa y que se tenga un registro de la temperatura del concreto.
2. Las cimbras de las superficies de contacto vertical se aflojen a las 12 horas del colado.
3. Se inicie el descimbrado según lo indicado en el proceso constructivo.
4. Se protejan las esquinas y los bordes de los elementos.
5. Los puntales y tarimas se retiren tan pronto como sea posible, evitando tirar clavos.
6. Si se requiere, se realice el reapuntalamiento según instrucciones.
7. Se retire la cimbra desmontada de la zona de colado para que se limpie, revise y se rehabilite.

5.2.5 CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLA.

Los problemas más comunes del cimbrado pueden atribuirse a materiales y equipo de mala calidad, a omisiones o a malas prácticas constructivas. Para evitar estas situaciones, garantizar la seguridad del personal y la integridad de la estructura terminada, los procedimientos de cimbrado deben planearse cuidadosamente. Algunas de las previsiones de seguridad que deben tenerse son:

- ⇒ Instalación de señales de seguridad y barricadas a fin de mantener al personal no autorizado fuera de las áreas de colado o descimbrado.
- ⇒ Incorporación de andamios, plataformas de trabajo y barandales en el diseño del cimbrado.
- ⇒ Adecuada iluminación del cimbrado.
- ⇒ Contar con observadores de cimbra experimentados durante la colocación del concreto para asegurar el reconocimiento temprano de desplazamientos o posibles fallas de la misma; así como tener una provisión extra de puntales, materiales y equipos que pudieran necesitarse.
- ⇒ Tener un programa de supervisión e inspección continua del montaje y remoción de cimbras.

Las deficiencias constructivas más comunes que conducen a que las cimbras se dañen o fallen son:

- * Separación grande entre los soportes verticales de cimbras, provocando deflexiones excesivas.
- * Falta de apoyos que transmitan las cargas excéntricas aplicadas a la cimbra.
- * Falta de verticalidad en los apoyos.
- * Refuerzos laterales inadecuados o insuficientes para resistir los empujes horizontales.
- * Inadecuada construcción de la cimbra por baja calidad de la mano de obra o de los materiales.
- * Fallas en la construcción de la cimbra por una interpretación incorrecta de los planos.
- * Ventanas o aberturas para colado inapropiadamente construidas o ubicadas.
- * Daños de la cimbra producidos por fallas en el terraplén de excavaciones.
- * Mala distribución en la colocación del concreto, provocando acumulaciones en una zona.
- * Uso inadecuado de los vibradores.
- * Descimbrado prematuro.

5.2.6 PRÁCTICAS PARA LOGRAR ECONOMÍA EN LA CIMBRA.

El ingeniero puede contribuir en la economía de la estructura realizando una adecuada planeación cuando se esté diseñando y especificando la estructura, y cuando se esté diseñando y construyendo la cimbra, de forma que se minimicen los costos de la misma. A continuación se citan ejemplos de cómo pueden planearse las estructura de la planta de tratamiento de agua residual para lograr economía en el cimbrado:

- ⇒ Si se toman en cuenta los tamaños disponibles de maderas o cimbras de acero para determinar las dimensiones de los elementos estructurales y se minimiza el número de tamaños diferentes, se ahorrará tiempo de trabajo en cortes, mediciones y nivelaciones.
- ⇒ Cuando esté detallado el sistema estructural, se deben considerar las aberturas para las instalaciones mecánicas, eléctricas e hidráulicas señaladas en los planos, a fin de lograr una máxima economía.

5.3 DOSIFICACIÓN, MEZCLADO Y ACEPTACIÓN DEL CONCRETO.

La dosificación y el mezclado se deben realizar de forma que el concreto cumpla con las características estructurales, resistencia química, requisitos de durabilidad y de acuerdo al sistema de colado que se emplee. Debido a que la uniformidad es de suma importancia para obtener concretos impermeables, es necesario mezclar adecuadamente los materiales que contiene el concreto.

5.3.1 DOSIFICACIÓN.

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumétricamente, e introducir al mezclador los ingredientes para formar el concreto. Esto tiene gran influencia, ya que para producir concreto de calidad uniforme, sus compuestos deben medirse en forma precisa en cada mezcla. Las especificaciones generalmente exigen que los materiales se midan en revolturas individuales con los siguientes porcentajes de precisión: cemento 1%, agregados 2 %, agua 1 % y aditivos 3 %, por lo que para lograr esto, se recomienda tener una estricta vigilancia en la dosificación del concreto, y que la medición de los agregados de preferencia se efectúe por peso debido a las imprecisiones que se presentan por el abundamiento de las arenas húmedas (Kosmatka, 1992).

Si los aditivos químicos se dosifican como soluciones, la cantidad de líquido debe ser considerada como parte del agua de mezclado. Los aditivos que no se agreguen en solución podrán ser pesados o medidos por volumen, según las instrucciones del fabricante.

5.3.2 MEZCLADO.

Con la finalidad de producir concreto impermeable, sus constituyentes se deben mezclar hasta que su apariencia sea uniforme y todos sus ingredientes estén distribuidos equitativamente. Si el concreto ha sido mezclado adecuadamente, las muestras que se tomen de distintas porciones de una mezcla tendrán el mismo peso volumétrico, revenimiento, contenido de aire y agregado grueso. El mezclado del concreto puede ser por:

a) Mezclado estacionario. En general, el concreto mezclado de esta forma se emplea en revolturas pequeñas o para conformar elementos que no sean importantes en las estructurales de la planta de tratamiento. Consiste en mezclar el concreto en el lugar de la obra mediante un mezclador estacionario de paleta o de aspa giratoria con abertura superior. Para conseguir un buen mezclado se debe:

1. Operar los mezcladores a la velocidad para la que fueron diseñados.
2. No sobrecargar los mezcladores por encima de sus capacidades evaluadas.
3. Cuidar que las aspas del mezclador estén en buen estado, es decir, que no se hayan desgastado o estén cubiertas de concreto endurecido.

El tiempo de mezclado es de un minuto como mínimo para mezcladores de hasta 765 litros de capacidad, con un aumento de 15 segundos por cada 765 litros adicionales o fracción. El periodo de mezclado se mide desde que el cemento y el agregado se encuentra en el tambor mezclador, a condición de que toda el agua se agregue antes que transcurra un cuarto del tiempo de mezclado.

Bajo condiciones normales, cerca del 10 % del agua de mezclado se debe colocar en el tambor antes de agregar los materiales sólidos. Después, el agua se vacía junto con los materiales sólidos, dejando un 10% para agregarla una vez que todos los componentes se encuentren dentro del tambor. Cuando se use agua caliente en climas fríos puede ser necesario modificar este orden de carga para evitar endurecimiento acelerado, recomendándose retrasar la adición del cemento hasta que la mayoría de los agregados y del agua se hayan entremezclado en el tambor.

Cuando se emplee un aditivo, su adición debe completarse dentro del primer minuto, después de agregar el agua. Si se utiliza aditivo retardante o reductor de agua, debe agregarse en la misma secuencia en todos los ciclos de carga, ya que de otra manera podrían presentarse variaciones en el tiempo de fraguado inicial y en el porcentaje de aire incluido. Si en la misma mezcla se usan varios aditivos, deben ser agregados por separado para evitar cualquier interacción que interfiera con la eficiencia de los mismos y que afecte al concreto.

b) Concreto premezclado. Este concreto se dosifica y mezcla fuera del sitio del proyecto, y se entrega en el área de construcción en estado fresco y sin endurecer. Generalmente se solicita cuando se van a colar volúmenes considerables de concreto en la planta de tratamiento (más de 5 m³). Se recomienda que la entrega y descarga del concreto se realice en el transcurso de 1 ½ hora o antes de que el tambor haya girado 300 veces después de incorporar el agua, con el fin de evitar pérdidas de resistencia y revenimiento. Las primeras 100 revoluciones se realizan a velocidad de mezclado (6 a 18 rpm) y el resto a velocidad de agitación (2 a 6 rpm). (Kosmatka, 1992).

5.3.3 EVALUACIÓN Y ACEPTACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO FRESCO.

Se emplea la prueba de revenimiento como criterio para aceptar o rechazar el concreto fresco, ya que una alteración en el revenimiento es con frecuencia una manera de detectar variaciones en la relación agua-cemento y, por lo tanto, en la resistencia.

La prueba de revenimiento mide la consistencia del concreto, y se realiza con el cono de Abrahms de acuerdo a la norma ASTM C-143-78 o su equivalente en la norma NOM C-156-86. La prueba de revenimiento se practica cada vez que se tomen muestras para probar la resistencia. Si al elaborar la prueba el revenimiento queda fuera de las tolerancias establecidas, se debe volver a medir el revenimiento y, en caso de que no vuelva a cumplir con las tolerancias se recomienda no aceptar el concreto ya que pone en riesgo la calidad de la estructura. La tolerancia que se da a esta prueba se observa en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Tolerancias para la prueba de revenimiento del concreto fresco.

Revenimiento Especificado	Tolerancia
Hasta 5 cm	± 1.5 cm
De 5 a 10 cm	± 2.5 cm
Más de 10 cm	± 3.5 cm

Fuente: Kosmatka, 1992.

5.4 TRANSPORTACIÓN Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

Aunque no exista una forma perfecta para transportar y manejar el concreto, una planeación anticipada puede ayudar a seleccionar el método más adecuado, evitando así la ocurrencia de problemas. La planeación debe tomar en consideración:

1. **Retrasos.** Al realizar el programa de trabajo se debe buscar que los colados se lleven a cabo de manera rápida y contando con la mejor fuerza laboral y equipo, de forma que se reduzcan los retrasos durante la colocación del concreto. Además, se deben tomar las precauciones necesarias en caso de que ocurran fallas en el equipo o en el suministro, teniendo equipo de apoyo por si el equipo primario llega a fallar; así como conocer una fuente alternativa que abastezca concreto para asegurar la continuidad del colado, evitando juntas no planeadas e inaceptables.
2. **Endurecimiento temprano.** El concreto comienza a endurecer cuando el cemento entra en contacto con el agua, pero el fraguado se controla dentro de la primera hora y media después del mezclado si se mantiene en agitación, de manera que se puede realizar la colocación y compactación del concreto. Hay que tomar en cuenta que se dispone de menos tiempo cuando existen condiciones que aceleren el proceso de endurecimiento como: climas cálidos y secos, o uso de aditivos acelerantes.
3. **Segregación.** Es la tendencia que presenta el agregado grueso a separarse del mortero (aguan-cemento), trayendo como consecuencia agrietamiento y apanalamientos.

En la planeación del colado primero se debe seleccionar el método para transportar el concreto al sitio de colocación en función del tipo de trabajo por realizar, es decir, tomando en cuenta el volumen de concreto por colar, el programa a cumplir, la clase de elementos estructurales, la cantidad de trabajo que queda debajo del nivel del terreno o por encima de éste y el nivel del mismo. Estos criterios ayudan a escoger el equipo de manejo del concreto más adecuado, de forma que se suministre en cantidad suficiente y en forma rápida a fin de eliminar juntas frías que provoquen fugas, afectando la estanqueidad de estructuras que contendrán fluidos. En la Tabla 5.6 se resumen los métodos y equipos más comunes para mover el concreto.

5.4.1 PREPARATIVOS PREVIOS A LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

Los preparativos previos a la colocación del concreto son (ACI-301-89):

1. Realizar una junta previa con la presencia de todos los responsables de las áreas involucradas en el colado para definir la forma en que éste se debe llevar a cabo y verificar la existencia de suficiente equipo y personal que garantice la continuidad del mismo. Ver formato en Anexo E.
2. Colocar aberturas temporales en cimbras de muros o columnas para limitar la caída libre del concreto a 1.2 m con el fin de evitar segregación y para facilitar su colocación y vibrado.
3. Contar con suficientes caídas para la colocación del concreto. Como máximo a cada 3 m.
4. Tener lonas o plásticos para cubrir el área por colar como protección ante cambios atmosféricos.
5. Contar con alumbrado suficiente y ubicado de forma que no entorpezca las actividades del colado cuando éste se realice en la noche.
6. Seleccionar el método y equipo de compactación según las características del concreto y las condiciones de colado como: complejidad de la cimbra, cantidad de acero de refuerzo, volumen de concreto por colar, programa de construcción por cumplir y facilidad para adquirir y hacer uso del equipo.

Tabla 5.6 Métodos y equipos empleados para transportar el concreto.

Equipo	Tipo y rango de trabajo del equipo	Ventajas	Puntos a vigilar
Cucharones	Empleados junto con grúas. Transportan el concreto directamente desde el punto de descarga hasta la cimbra.	Permiten explotar totalmente la versatilidad de las grúas. Tienen una descarga limpia. Amplio rango de capacidades.	Seleccionar la capacidad del cucharón para que concuerde con el volumen de concreto por colar y con la capacidad de la grúa. La descarga debe controlarse, evitando que se realice en movimiento, o se golpee o sacuda el cucharón ya que provoca segregación.
Canalones	Para transportar concreto a niveles bajo el terreno.	Bajo costo y facilidad de maniobra. No se necesita fuerza motriz, pues la gravedad efectúa la mayor parte del trabajo.	Deben de ser de metal, excepto aluminio, o de madera con revestimiento metálico. La pendiente debe ser entre 1 a 2 y 1 a 3 de modo que el concreto se deslice con la suficiente rapidez para que el canalón se mantenga limpio y no se presente segregación. Los canalones se deben soportar adecuadamente en todas las posiciones y deben mojarse antes de empezar la descarga. Se deben efectuar arreglos en el extremo de descarga con deflectores o a través de un tremie o trompa de elefante para evitar segregación.
Bombas	Empleadas para transportar directamente el concreto desde el punto de descarga hasta la cimbra. Según el equipo, se pueden colocar volúmenes de 8 a 70 m ³ /hr, con alcance horizontal de 100 a 300 m y en distancia vertical de 30 a 90 m. La capacidad efectiva depende de la longitud de la línea, altura a la que se bombea, superficie interior del tubo y sus acoplamientos, número y grado de curvas, y de las características del concreto.	Las tuberías ocupan poco espacio y se pueden tender fácilmente. Entregan concreto en flujo continuo. Las bombas pueden mover al concreto ya sea de manera vertical u horizontal. Se pueden remitir bombas móviles.	Se requiere suministro constante de concreto fresco con una consistencia fluida y sin tendencia a segregarse. Se debe tener cuidado al operar la línea de bombeo para asegurar un flujo uniforme y limpiarla una vez que se haya terminado la operación de colado. El bombeo vertical, con curvaturas y a través de mangueras flexibles reducirá la distancia máxima de bombeo, siendo la pérdida de revenimiento menor de 4 cm. Los tubos no deben contener aluminio.
Tubo embudo (Tubo tremie)	Para colocar concreto bajo el agua.	Se puede usar para vaciar el concreto por medio de un embudo en colados con presencia de agua (cimentaciones o colados profundos). Permite que el concreto fluya a través de armados de acero de refuerzo muy cerrados.	Se necesitan precauciones para asegurarse que el extremo de descarga del tubo siempre se encuentre enterrado en concreto fresco, de modo que se tenga un sello entre el agua y la masa de concreto. A menos que se cuente con presión, el diámetro deberá ser de 25 a 30 cm. La mezcla de concreto requiere de mayor cantidad de cemento, de 390 a 450 kg/m ³ , y un revenimiento mayor, de 15 a 22.5 cm, pues el concreto debe fluir y consolidarse sin ninguna vibración.
Carretillas manuales y motorizadas	Para acarreos planos y cortos, especialmente donde el acceso al área de trabajo esté restringido. Tiene un alcance de hasta 60 m.	Muy versátiles e ideales en interiores y sitios donde las condiciones de colado se encuentren cambiando constantemente.	Lentas y de trabajo intenso.

Fuente : Adaptado de Kosmatka y Panarese, 1992.

5.4.2 CUIDADOS EN LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

A menos que se cuente con una protección adecuada, el concreto no debe colarse durante las condiciones atmosféricas que se presentan en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Situaciones y daños que pueden presentarse durante el colado del concreto.

Situación	Daños que ocasiona
Lluvia	Aumenta la relación agua-cemento que disminuye la resistencia y afecta los acabados.
Granizo	Daña los acabados y provoca un descenso en la temperatura.
Nieve	Ocasiona un descenso en la temperatura.

Fuente : Adaptado del ACI 301,1988.

Además, al colocar el concreto en las cimbras se debe:

- ⇒ Depositar el concreto en capas horizontales de 30 a 60 cm para evitar segregación, colocadas lo más cerca de la posición final en la que vayan a quedar y evitando la caída libre del concreto de más de 1.2 m. La velocidad de colocación debe ser lo suficientemente rápida para que la capa de concreto no haya fraguado cuando se coloque encima una capa nueva, con el fin de evitar recorridos de filtración, fisuras y planos de debilidad (juntas frías).
- ⇒ El colado de losas debe comenzar en un extremo del perímetro, descargando cada mezcla contra el concreto previamente colado. No se debe voltear el concreto en pilas separadas o pilas corridas para luego moverlo horizontalmente a su posición final, ya que se provoca segregación.
- ⇒ En muro, cadenas y trabes, la colocación del concreto se debe comenzar en los extremos, con colados subsecuentes avanzando hacia el centro y evitando que el agua se almacene en los extremos, en las esquinas y en las caras de las cimbras.
- ⇒ No se debe comenzar el colado de vigas o losas hasta que el concreto, previamente colocado en muros y columnas haya alcanzado su resistencia mínima.

5.4.3 LIMITACIONES DE COLOCACIÓN DEL CONCRETO POR TEMPERATURA.

a) Clima frío. Cuando se espere que la temperatura del aire sea menor de 4 °C durante el colado o en las 24 horas posteriores a éste, no se recomienda llevarlo a cabo, ya que implica costos excesivos. Sin embargo, si es preciso realizarlo, se puede calentar el agua y los agregados para que la temperatura del concreto fresco no sea menor de 12 °C en caso de secciones menores de 30 cm y de 10 °C en secciones mayores. Durante el curado se pueden emplear lonas y mantas para cubrir los elementos colados a fin de retener el calor generado por la hidratación del cemento. Además, las cimbras pueden ser calentadas o emplear un curado a vapor para acelerar la resistencia.

b) Clima cálido. Cuando la temperatura ambiental sea igual o mayor a 32 °C, hay que tomar precauciones especiales durante el mezclado, colado y curado del concreto para evitar que éste fragüe antes de ser colocado y vibrado, y para impedir la contracción térmica que provoca agrietamientos. Las sencillas recomendaciones que se enlistan a continuación pueden ayudar a realizar el colado en climas cálidos con el fin de obtener un concreto de calidad:

- ⇒ Hacer una planeación más detallada del colado, en donde se definan los procedimientos y se prevean situaciones adversas que pudieran presentarse, con el fin de evitar juntas frías.

- ⇒ Realizar los colados en la madrugada, tarde o noche.
- ⇒ Enfriar los agregados, el cemento y el agua de mezclado, o reemplazar parte del agua con hielo.
- ⇒ Emplear aditivos retardantes de fraguado.
- ⇒ Evitar mezclados prolongados, reduciendo el tiempo de descarga del concreto a 1 hr o 45 min.
- ⇒ Transportar y colocar el concreto lo más rápido posible, ya que los retrasos contribuyen a la pérdida de revenimiento y a un aumento en la temperatura del mismo.
- ⇒ Colocar pantallas parasol o rompevientos provisionales para reducir la temperatura en la superficie del concreto y por ende, la formación de agrietamiento por contracción.
- ⇒ Efectuar la nivelación tan pronto como desaparezca el brillo de la superficie por agua, o cuando el concreto pueda soportar el peso de la persona que vaya a realizarlo.
- ⇒ Al terminar la nivelación se puede aplicar algún retardante de evaporación, como polímeros, para retrasar la pérdida de agua antes de comenzar el acabado final y curado.
- ⇒ Las cimbras deben quitarse tan pronto como resulte práctico sin que se dañe el concreto.
- ⇒ El curado debe comenzarse al concluir el acabado y cuando el agua haya perdido su brillo. El agua de curado no debe estar muy fría en comparación con el concreto endurecido (11 °C de diferencia) para evitar agrietamiento por diferenciales de temperatura.
- ⇒ Es preferible un curado húmedo continuo; sin embargo, si éste no es posible, las superficies de concreto deben cubrirse con un compuesto formador de membrana tan pronto como se dé el acabado final.

5.5 CONSOLIDACIÓN DEL CONCRETO.

Después de depositar el concreto, éste debe consolidarse, es decir, se debe compactar cuando se encuentra en estado fresco para amoldarlo a la cimbra y alrededor de los elementos ahogados y del refuerzo, a fin de eliminar las cavidades de aire y lograr un concreto denso e impermeable. Es importante tener en cuenta que un concreto de bajo revenimiento se puede transformar en fluido para facilitar su consolidación con el uso de aditivos sin que se tenga que agregar agua a la mezcla.

5.5.1 MÉTODOS DE CONSOLIDACIÓN.

Existen varios métodos de compactación entre los cuales se puede elegir el que más convenga a las condiciones propias de la obra. El método seleccionado depende de la consistencia de la mezcla, del grado de desaireación deseado y de las condiciones de colado como: la complejidad de la cimbra y la cantidad y separación del refuerzo. Los métodos de compactación pueden ser:

a) Métodos manuales. En mezclas fluidas se puede lograr cierta compactación al depositar el concreto en las cimbras debido a la acción de la gravedad, por lo que se requiere poco esfuerzo de compactación adicional. Sin embargo, la calidad de estos concretos es muy pobre, es decir no es estructural, debido a su elevado contenido de agua. Una mezcla que se puede consolidar con herramientas manuales no debe ser consolidada por métodos mecánicos, ya que se puede segregar.

Estos métodos de consolidación generalmente se usan en colocaciones pequeñas de concreto y son: varillado, paleado y apisonado. El varillado consiste en introducir en el concreto repetidas veces una varilla, larga para llegar al fondo de la cimbra y delgada para pasar entre el acero de refuerzo y la cimbra. El paleado consiste en inserta y sacar repetidas veces en el concreto una herramienta plana que facilita el movimiento de los huecos de aire y las bolsas de agua hacia la

superficie. El apisonamiento manual se usa para consolidar mezclas rígidas al colocar capas delgadas e ir las apisonando, resultando un método muy efectivo, pero laborioso y costoso.

b) Métodos mecánicos. El método más empleado es el vibrado, ya sea interno o externo, pues es muy eficiente para mezclas rígidas, propias de concretos estructurales de alta calidad. El trabajo de los vibradores se basa en transmitir un movimiento oscilatorio al concreto que permite que los vacíos de aire suban a la superficie. El movimiento oscilatorio se describe en términos de frecuencia (número de oscilaciones o ciclos por unidad de tiempo) y por la amplitud de la vibración (desviación desde el punto de apoyo). Los métodos de vibración se dividen en:

Vibradores internos o de inmersión. Se utilizan normalmente para consolidar concreto en muros, columnas, vigas y losas. Los vibradores internos más empleados son los de flecha flexible, pero también se usan los vibradores de motor eléctrico en la cabeza y los vibradores de aire. Para obtener concretos densos e impermeables, durante la vibración interna se debe:

⇒ Verificar que la frecuencia del vibrador se encuentra dentro de los rangos que se muestran a continuación (con tacómetro). Si el equipo no funciona, se identifica y retira para ser reparado.

a) $\varnothing \frac{1}{4}$ a $\frac{1}{4}$ "	10,000 a 15,500 rpm	c) $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ a 3"	8,000 a 12,000 rpm	e) $\varnothing 6$ a 7"	5,500 a 8,500 rpm
b) $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ a 2"	9,000 a 13,500 rpm	d) $\varnothing 3 \frac{1}{2}$ a 5"	7,000 a 10,500 rpm		

- ⇒ No usar el vibrador para mover horizontalmente al concreto, pues provoca segregación.
- ⇒ Cada capa de concreto debe ser de la longitud de la cabeza del vibrador (30 cm como máximo).
- ⇒ La distancia entre inserciones es de aproximadamente $1 \frac{1}{2}$ veces el radio de acción, de manera que el área por vibrar traslape con el área adyacente, anteriormente vibrada.
- ⇒ Introducir verticalmente el vibrador en el concreto, permitiendo que descienda por gravedad hasta el fondo de la capa que se esté colando y al menos 15cm en la capa colocada previamente.
- ⇒ Insertar el vibrador con un ángulo casi horizontal en losas delgadas, de modo que se mantenga completamente sumergida la cabeza del vibrador.
- ⇒ Manejar el vibrador con movimiento hacia arriba y hacia abajo a fin de unir las capas de colado.
- ⇒ El tiempo de inserción del vibrador en el concreto es de 5 a 15 segundos.
- ⇒ No insertar el vibrador dentro de los 60 cm de ningún extremo no confinado.
- ⇒ Poner mayor atención al vibrado de zonas críticas como: esquinas, alrededor de elementos ahogados, en huecos y en zonas congestionadas por acero.
- ⇒ Retirar el vibrador lentamente y rellenar con concreto los huecos dejados. Si un agujero no se ha rellenado, el problema se resuelve reinsertando el vibrador en un punto cercano.
- ⇒ Contar con un equipo de reserva por cada tres vibradores para garantizar un colado continuo.

La eficiencia de la vibración interna se juzga por los cambios en la apariencia de la superficie del concreto como son: inserción del agregado y afloramiento de una capa de lechada, nivelación de la superficie del concreto, aparición de una película de pasta alrededor de la cabeza del vibrador, cesa el escape de burbujas en la superficie y, el principal, el sonido emitido por el vibrador cambia al recuperar su frecuencia normal.

Vibradores externos. Se emplean para: consolidar el concreto en elementos muy delgados o que estén muy congestionados de refuerzo; para complementar la vibración interna; o para mezclas rígidas en las que no se pueda usar un vibrador interno. Los vibradores externos más utilizados son los vibradores para cimbra, los cuales se fijan al lado exterior de la cimbra para hacerla vibrar, y ésta a su vez transmite las vibraciones al concreto. Para obtener una vibración eficiente se debe:

- ⇒ Revisar las unidades de vibrado antes de usarlas para garantizar que funcionen correctamente.
- ⇒ Espaciar los vibradores de forma que distribuyan uniformemente la intensidad de vibrado en toda la cimbra.
- ⇒ No fijar los vibradores directamente a la cimbra, sino a placas de metal y a vigas I o canales que pasen a través de los atiesadores. Las fijaciones incorrectas causan compactación inadecuada.
- ⇒ El período de vibración externa varía entre uno y dos minutos.
- ⇒ No colocar vibradores en los 75 cm superiores de cimbras verticales, ya que puede crear un vacío entre el concreto y la cimbra, es preferible usar vibradores internos.
- ⇒ Vibrar las varillas de refuerzo en las secciones densamente reforzadas fijando el vibrador para cimbra a las partes expuestas de las varillas, ya que ayuda a eliminar el aire atrapado y mejora la adherencia entre las varillas y el concreto que las rodea.
- ⇒ Las mezclas fluidas generalmente requieren de mayores frecuencias que las mezclas rígidas.
- ⇒ La consolidación mejora si se aumenta la frecuencia y se disminuye la amplitud conforme el vibrado va progresando.

Métodos combinados. En ciertas condiciones se pueden combinar los métodos de vibración para proporcionar mejores resultados. Algunas veces se usan vibradores externos para la compactación de rutina y vibradores internos para empleo local en secciones críticas muy reforzadas y propensas a los vacíos. Por el contrario, cuando la compactación principal se realiza mediante vibradores internos, la vibración externa se puede aplicar para lograr el aspecto requerido en la superficie.

5.5.2 FALTA Y EXCESO DE VIBRADO.

Es más común que se presente la falta que el exceso de vibrado, por lo que éste problema se resuelve aplicando vibrado adicional, ya que los concretos bien dosificados no se ven afectados por un pequeño exceso de vibrado. En cambio, cuando se presenta exceso de vibrado debido a una operación descuidada o al empleo de equipo con mayor capacidad, la vibración dada es varias veces mayor que la cantidad especificada, por lo que se puede presentar segregación, vetas de arena, pérdidas excesiva del aire incluido, deflexión o daño de la cimbra, e incluso, la falla de ésta.

5.6 JUNTAS.

El diseño y colocación de juntas en las estructuras sanitarias es de gran importancia ya que ayudan a controlar los agrietamientos y permiten separar etapas constructivas. Los tipos de juntas más comunes en estas estructuras son: juntas de contracción, juntas de aislamiento y juntas de construcción. A las dos primeras se les agrupa y conoce como juntas de movimiento, ya que permiten los desplazamientos del concreto.

5.6.1 JUNTAS DE CONTRACCIÓN O DE CONTROL.

Las juntas de contracción permiten los movimientos del concreto debidas a su contracción y expansión por cambios de temperatura y humedad e inducen el agrietamiento en el sitio preseleccionado con la finalidad de minimizar los agrietamientos aleatorios. Para su construcción se requiere que el diseñador indique su posición y acero de refuerzo, si es el caso, en los planos.

Existen dos tipos de juntas de contracción: las totales y las parciales (Ver Figura. 5.1). En la junta de contracción total, todo el acero de refuerzo termina a 5 cm de la junta. Cuando se desee pasar fuerzas de tensión a través de la junta para unir entre si la estructura, se usa una junta de contracción parcial, teniendo en cuenta que para asegurar la formación de la grieta, no se debe pasar más del 50% del acero de refuerzo.

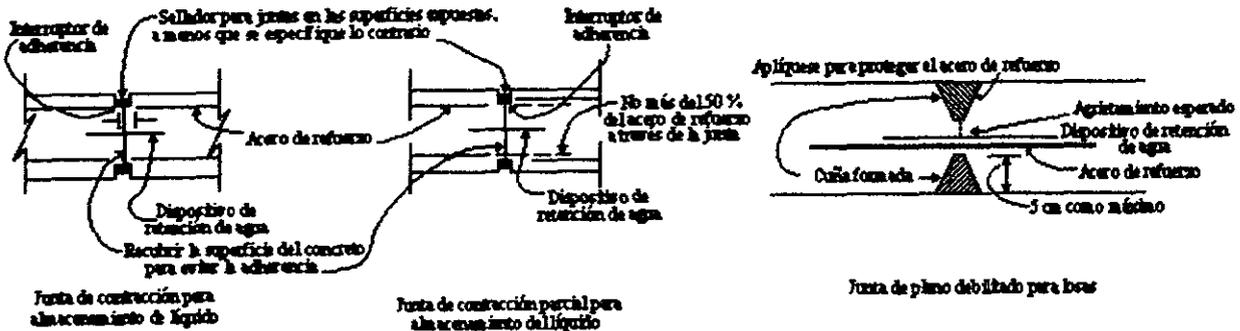


Figura 5.1 Juntas de contracción.

Uno de los métodos más comunes para crear juntas de contracción consiste en aserrar una ranura recta continua en la parte superior de la losa para formar un plano de debilidad en donde se provoque una grieta. El corte debe hacerse dentro de las 4 o 12 horas posteriores al endurecimiento del concreto. En estas juntas las cargas verticales se transmiten por la trabazón de agregados entre las caras opuestas de la grieta o con el uso de barras pasajuntas de acero. (Ver Figura 5.2).

También se pueden formar estas juntas colocando tiras de madera, metal o material preformado que reduzca la sección transversal del concreto, creando un plano debilitado. Las juntas deben desarrollarse a una profundidad de un cuarto del espesor de losa, y en los muros el espesor debe reducirse al menos en 20 %. Si el inserto es removible, el vacío puede ser llenado con sellador.

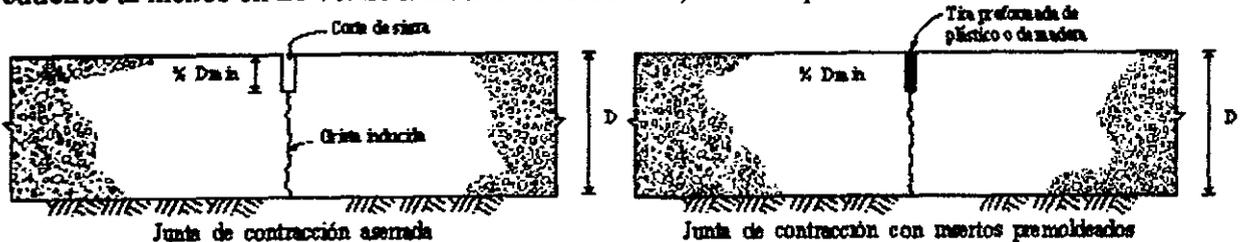


Figura 5.2 Juntas de contracción en losas.

La superficie del concreto donde se haga la junta debe estar limpia, seca, libre de grasa, aceite o compuesto de curado. Posteriormente, se debe realizar la impregnación con sellador a lo largo del perímetro expuesto de la junta con objeto de impedir que penetre agua o materias extrañas. Para aplicarlo, se deben seguir las recomendaciones del fabricante, cuidando que el sellador sea compatible con el líquido que va a ser retenido. En caso de requerir impermeabilidad se deben usar los dispositivos de retención de agua, ya sea de metal, plástico o caucho.

Se recomienda colocar juntas totales de contracción en los intervalos sugeridos por la Tabla 5.8. Las juntas de contracción en muros deben quedar espaciadas a no más de 6 m y deben ir colocadas donde ocurran cambios abruptos de espesor, de altura o cerca de las esquinas.

Tabla 5.8 Separación máxima de las juntas de contracción, metros.

Espesor de la losa [cm]	Revenimiento de 10 a 15 cm		Revenimiento menor que 10 cm
	Agregado de tamaño máximo menor que 19 mm (¾ ")	Agregado de tamaño máximo igual o mayor que 19 mm (¾ ")	
10.00	2.40	3.00	3.60
12.50	3.00	4.00	4.50
15.00	3.60	4.50	5.50
17.50	4.20	5.50	6.40
20.00	4.80	6.00	7.30
22.50	5.50	7.00	8.20
25.00	6.00	7.60	9.10

Fuente : Adaptado de Kosmatka y Panarese, 1992.

5.6.2 JUNTAS DE AISLAMIENTO O DE EXPANSIÓN.

Las juntas de expansión permiten movimientos diferenciales entre la estructura y sus áreas colindantes durante el período de curado y servicio. Estas juntas tienen el objeto de separar o aislar áreas o elementos que podrían ser afectados por cambios dimensionales o desplazamientos debidos a la aplicación de cargas, dilatación, contracción y movimientos de cimentaciones. El principal uso de estas juntas en las plantas de tratamiento es alrededor de la cimentación de maquinarias o equipos, para separarla de las estructuras de mayor rigidez (Ver Figura 5.3). Se recomienda que las estructuras adyacentes con cargas y funciones diferentes estén separadas físicamente por medio de juntas de expansión y/o construcción de doble pared, caso muy frecuente en los tanques rectangulares usados para el tratamiento del agua residual. Estas juntas también pueden funcionar como juntas de contracción o de construcción.

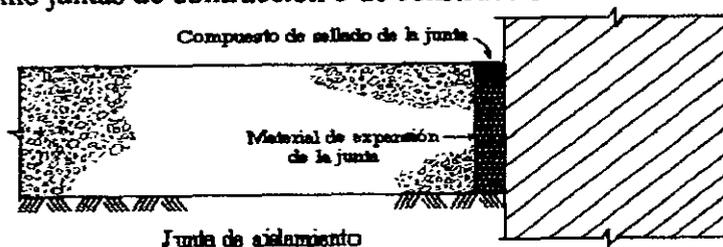


Figura 5.3 Juntas de aislamiento o de expansión.

Todas las juntas deben contar con un relleno premoldeado compresible y un sellador. El corcho, neopreno, caucho y espuma constituyen rellenos satisfactorios, siendo las bandas de caucho las que permiten mayor movimiento en la junta y las más durables cuando se colocan en un ambiente oscuro y húmedo como el que se presenta en los tanques de las plantas de tratamiento. No se recomienda el uso de bandas de P.V.C. ya que generalmente favorecen la formación de fugas, ni el uso de selladores de polisulfuro ya que son atacados por las aguas residuales (ACI 350,1992).

En caso de que el elemento deba ser hermético, se empleará un sellador sin deformación colocado en la cara donde esté el líquido y será preciso incluir un dispositivo de retención de agua, ya sea de caucho, neopreno, plástico o acero, para que actúe como una barrera contra fugas. Ver Figura 5.4.

Los dispositivos de retención de agua, los rellenos premoldeados y los selladores para juntas deben elegirse de manera que permitan los movimientos que se presentarán, verificando que sean resistentes a la exposición prolongada de contaminantes y sustancias químicas que se encuentran en el agua residual o se usan para su depuración.

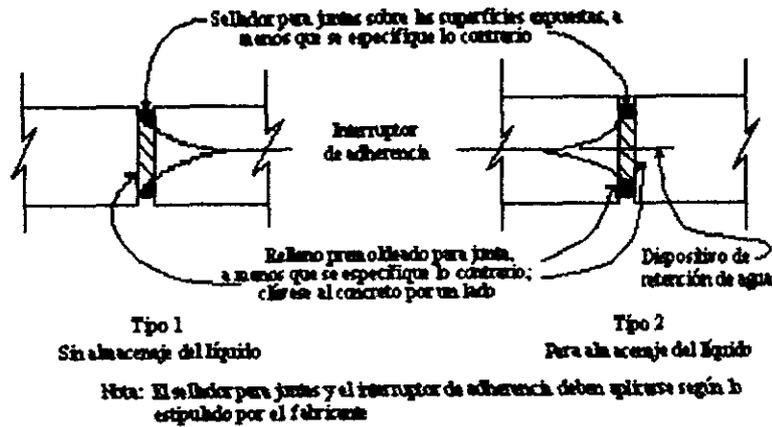


Figura 5.4 Juntas de expansión con y sin almacenamiento de líquido.

5.6.3 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.

Las juntas de construcción son lugares de paro durante el proceso constructivo que unen concreto nuevo con concreto existente y no permiten ningún movimiento. El diseñador debe colocar las juntas de forma que perjudiquen lo menos posible la resistencia de la estructura, proporcionando separaciones lógicas entre los segmentos de la estructura y facilitando la construcción.

Antes de colar concreto nuevo sobre una junta de construcción, la superficie del concreto existente se debe limpiar y preparar para asegurar una buena adherencia entre ambos concretos. Para lograr esto se pueden emplear adhesivos o retardador de mortero que permitan mantener limpia la superficie del concreto existente; además, se debe hacer rugosa la superficie del concreto mediante la exposición de los agregados (6 mm). Cuando la estructuras vaya a contener líquidos es necesario colocar dispositivos de retención de agua de caucho, vinil o acero.

Es importante recordar que todo el acero de refuerzo debe continuar a través de la junta de construcción. En los pisos que soportan cargas grandes se utilizan comúnmente juntas con barras pasajuntas sin ligar o juntas machihembradas. Para losas delgadas bastará con una junta a tope de cara plana. Ver Figura 5.5.

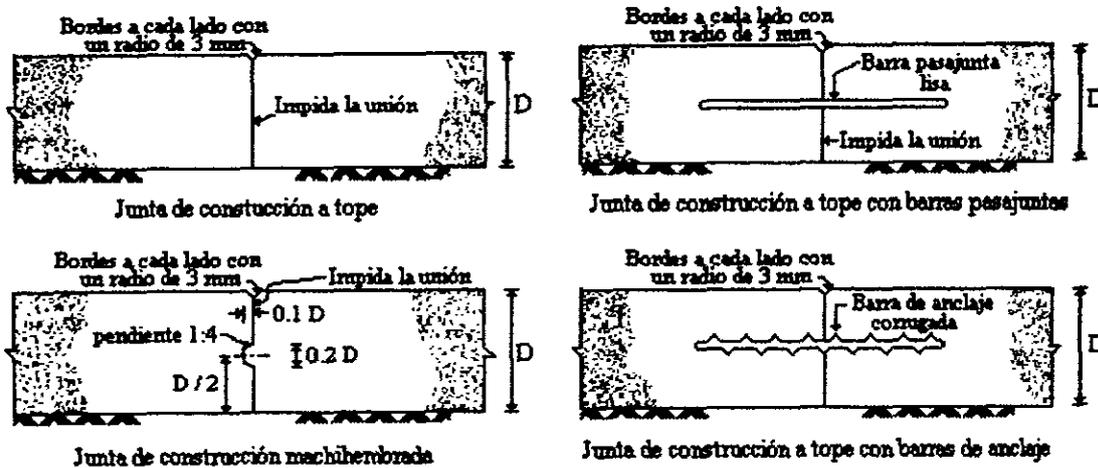


Figura 5.5 Juntas de construcción.

Como se requieren de cuidados especiales para formar una junta de construcción, usualmente se diseña y construye para que funcione como junta de contracción o de aislamiento.

5.7 ACABADO DE SUPERFICIES.

Al terminar el colado se debe dar el acabado requerido a las superficies del concreto. En general, se han observado buenos resultados con el acabado por medio de llana y el uso de cimbras lisas que disminuyen las pérdidas hidráulicas debidas a la fricción con las superficies.

Para obtener una superficie plana se debe realizar el extendido uniforme del concreto para nivelarlo, recomendándose que se mueva lo menos posible. Para la nivelación se emplean maestras guías mojadas y maestras guías fijas, siendo éstas últimas las que dan mayor precisión en la nivelación de pisos. La lechada que aparezca en la superficie por la nivelación se debe dejar secar, a menos que la cantidad sea excesiva y se requiera retirar ésta antes de trabajar la superficie.

Posteriormente se lleva a cabo el aplanado, para lo cual es necesario que el concreto endurezca lo suficiente para soportar la presión del pie y que el brillo del agua haya desaparecido. El aplanado tiene como propósito llevar el agregado grueso bajo la superficie de mortero; eliminar pequeñas imperfecciones, protuberancias y depresiones; y compactar el concreto como preparación a otras operaciones de acabado. El método más empleado es el aplanado con llana.

5.7.1 ACABADO DE SUPERFICIES EN CONTACTO CON LA CIMBRA.

Los requisitos para estas superficies varían desde quitar las rebabas y reparar las imperfecciones, hasta el acabado que incluye: aplanado, raspado y cepillado. Este trabajo debe realizarse tan pronto como se hayan quitado las cimbras. Cuando en los planos o documentos del proyecto no se especifique el tipo de acabado, se recomienda emplear los que se muestran en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Tipos de acabados de superficies y sus usos.

Tipo de acabado	Uso	Procedimiento
Acabado arañado	Para superficies que van a tener aplicaciones de cemento.	Después de que el concreto se haya nivelado, la superficie debe arañarse por medio de cepillos o escobillas antes del curado.
Acabado pulido	Para superficies que van a recibir techos, membranas impermeables o terracerías.	Al terminar la nivelación del concreto, se debe esperar a que esté listo para el allanado manual o con llana automática de paletas o de disco. Después del primer allanado, el aplanamiento de la superficie debe revisarse por medio de una plantilla de 3.0 m aplicada en al menos dos ángulos distintos. Todas las elevaciones deben emparejarse y los hundimientos deben rellenarse. Después, el elemento debe volverse a allanar a fin de obtener una textura arenosa uniforme.
Acabado con llana	Para tanques y pisos de andadores o que recibirán recubrimiento.	Después de la nivelación, se debe esperar a que esté listo para el allanado manual o con llana automática de paletas o de disco.
Acabado escobillado	Para aceras y pisos de rampas y estacionamientos.	Al terminar el acabado pulido del concreto, se le debe dar una textura rugosa transversal pasando una escoba o una banda rugosa a lo ancho de su superficie.
Acabado antiderrapante	Todas las áreas de pisos, plataformas, rampas, banquetas y escalones que estén destinados al paso de peatones y que probablemente lleguen a mojarse.	Se obtienen usando los siguientes métodos de acabado: 1. Diseño de remolino o cepillado. Se logra con llana de acero, aluminio o magnesio haciendo presión en movimiento semicircular sobre la superficie o mediante escoba de cerdas suaves con movimiento en forma de oleaje. Después se cura. 2. Aditivo antiderrapante en polvo. El aditivo se mezcla en seco con el cemento en proporción de 1:1 o 1:2. También se logra con un aditivo o con un agregado metálico para dar colocación. 3. Esmerilado mecánico a edades tempranas. Se remueve 1 mm de la capa superior del concreto de 2 a 7 días después del curado.

Fuente: Adaptado del ACI 302, 1992.

Como caso particular, en zonas donde se requiera de atención constante del sistema de tratamiento sobre los tanques o para intercomunicarlos se deben colocar pisos de rejilla metálica.

5.7.2 REPARACIÓN DE DEFECTOS MENORES DE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO.

La reparación de defectos menores causados por prácticas constructivas incorrectas se debe efectuar después del descimbrado y antes de aplicar el compuesto de curado con métodos aceptados y no, simplemente, recubriéndolos (Ver Capítulo 6). En la Tabla 5.10 se muestran las causas y reparaciones a imperfecciones provocadas por un mal proceso constructivo. El tipo de reparación depende de la extensión y profundidad del concreto dañado, así como de su localización, siendo importante en todos los casos picar y retirar todo el material dañado hasta llegar a concreto sano, y limpiar y humedecer las superficies antes de resanar. Es esencial que el relleno quede bien adherido al concreto adyacente.

Tabla 5.10 Causas y reparaciones a daños provocados por un proceso constructivo incorrecto.

PROBLEMA	CAUSA	FORMA DE EVITAR Y REPARAR
Segregación	Ocurre cuando el agregado grueso se separa del mortero. Es consecuencia del empleo de vibradores inadecuados o defectuosos, o bien de procedimientos incorrectos de vibrado (inmersiones desordenadas o variando el ángulo de entrada del vibrador).	La segregación debe evitarse ya que reduce la resistencia del concreto. Cuando aparecen en la superficie es necesario picar el área y resanarla con pasta.
Agujeros de insectos	Son huecos en el concreto por aire atrapado debido a: granulometría pobre de los agregados, exceso de desmoldante o mala distribución del mismo, vibrado deficiente, insuficiente cantidad de pasta, revenimiento inadecuado para las condiciones de colocación y vibrado.	Para reducir los huecos hay que disminuir la separación entre las inmersiones del vibrador y aumentar el tiempo de vibrado. Evitar los desmoldantes de gran viscosidad y su aplicación en capas gruesas, ya que tienden a retener aire y burbujas de agua.
Vetas de arena	Son resultado del sangrado intenso a lo largo de la cimbra, causado por: mal proporcionamiento de la mezcla, colado en capas gruesas sin vibrado adecuado, cimbras con fugas que permiten perder finos y la entrada de aire.	Llevar un control adecuado al realizar el diseño de la mezcla, el colado y el vibrado del concreto.
Líneas de escurrimiento	Son líneas oscuras que aparecen en la superficie cimbrada y que muestran los límites entre los colados de concreto adyacentes. Por lo general, indican la falta de penetración del vibrador en la capa adyacente.	Realizar un vibrado adecuado.
Juntas frías	Se originan por retrasos en la colocación del concreto, causando separación de colados contiguos.	En demoras inesperadas y cortas durante el colado, el concreto debe mantenerse fresco revibrándolo en intervalos de 15 min. y evitando la segregación. Si empieza el fraguado debe formarse una junta de construcción.
Agrietamiento por inmersión	Resulta a partir del desarrollo de tensiones cuando el concreto se compacta cerca del tiempo de fraguado.	Para eliminar este tipo de agrietamiento, el concreto debe revibrarse hasta que el vibrador se hunda en el concreto por peso propio.

Fuente: Adaptado del ACI 201.2R-77.

5.8 CURADO.

El curado consiste en mantener en el concreto los contenidos de humedad y temperatura durante un periodo definido después del fraguado inicial o el acabado de la superficie, con el propósito de que desarrolle las propiedades deseadas. El curado es importante ya que tiene gran influencia sobre las propiedades del concreto endurecido como: durabilidad, resistencia, hermeticidad, y resistencia a la congelación y deshielo. El periodo de curado se divide principalmente en dos fases:

- a) Curado inicial. Se efectúa al terminar las actividades de acabado del concreto y dura 24 hrs.
 b) Curado final. Comienza después del curado inicial y dura al menos 7 días cuando se aplica agua.

5.8.1 MÉTODOS Y MATERIALES DE CURADO.

La selección del método o combinación de métodos para curar el concreto dependen de la disponibilidad de los materiales de curado, el volumen y forma del concreto, la resistencia requerida, las condiciones ambientales y la economía. En la Tabla 5.11 se muestran los materiales y métodos de curado más empleados.

Tabla 5.11 Materiales y métodos de curado empleados.

Material	Forma de aplicación y recomendaciones
Estancamiento o inmersión	Se aplica en superficies planas y consiste en retener un tirante de agua por medio de bordos de arena o de tierra en el perímetro de la superficie del concreto. Debido a que requiere de trabajo y supervisión considerable sólo se usa en áreas pequeñas. Evita la pérdida de humedad y conserva uniforme la temperatura del concreto.
Rociado o aspersión	Se emplea cuando la temperatura ambiente queda por encima de la de congelación y la humedad es muy baja. Se debe aplicar una llovizna muy fina de manera continua a través de un sistema de boquillas o rociadores. El costo del rociado es elevado y requiere de una amplia fuente de abastecimiento de agua y de supervisión cuidadosa. Se deben tomar precauciones para evitar que el agua provoque erosión en el concreto recién acabado.
Cubiertas húmedas	Las cubiertas de tela saturadas con agua pueden ser: la arpillera, las esteras de algodón y las esterillas, las cuales deben retener la humedad. Se deben colocar tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para evitarle daños, teniendo precaución de cubrir toda la superficie, incluyendo los bordes. Las cubiertas deben mantenerse húmedas de manera que una película de agua permanezca sobre la superficie del concreto durante el período de curado. Las cubiertas húmedas de tierra, arena o aserrín consisten en distribuir de manera uniforme una capa de 5 cm sobre la superficie del concreto previamente humedecida y mantener la humedad. Son efectivas para curar trabajos pequeños. Se puede usar paja o forraje para curar superficies planas, colocando una capa de 15 cm de espesor sujeta con malla de alambre, arpillera o lonas impermeables para impedir que el viento las levante. La principal desventaja de las cubiertas de forraje, paja, aserrín, arena o tierra húmeda es que pueden decolorar al concreto.
Papel impermeable	Consiste en hojas de papel kraft, de color claro y que no manchen al concreto, colocadas cuando éste comienza a endurecer y se ha saturado su superficie, permitiendo traslapes de los bordes de las hojas de 15 cm. Después se sellan con arena, cinta adhesiva, mastique o cola. Sirve para curar superficies horizontales y concreto que tenga una forma simple. Es un método caro pero no necesita adiciones periódicas de agua y puede ser reutilizado.
Láminas de plástico	Las láminas de materiales plásticos, como los rollos de polietileno, constituyen una barrera efectiva de peso ligero que sirve para curar elementos de formas simples o complejas, al evita la pérdida de humedad del concreto, eliminando la necesidad de adicionar agua continuamente. Su aplicación es igual a la descrita con el papel impermeable.
Compuesto formador de membranas	Son compuestos a base de parafina, resinas, hules clorados y solventes, que retardan o reducen la evaporación del agua del concreto. Se deben aplicar con equipo rociador después de dar el acabado final al concreto y humedecer la superficie. Generalmente se aplica una capa a razón de 3.7 a 4.9 m ² /l, aunque algunas veces se colocan dos capas para asegurar un recubrimiento completo. La segunda capa se debe aplicar en ángulo recto (cuatrapeada) respecto a la otra.
Cimbras dejadas en su lugar	Evitan la pérdida de humedad si las superficies expuestas del concreto se conservan húmedas. No se debe usar en climas cálidos. Si este curado no se puede realizar, la cimbra debe removerse tan pronto como esto sea práctico.
Curado al vapor	Útil cuando se requiere mayor resistencia del concreto a edad temprana. Se usa principalmente para estructuras prefabricadas o en pequeñas unidades manufacturadas. Un ciclo de curado al vapor consiste de (1) un retardo antes de aplicar el vapor, (2) un período para elevar la temperatura, (3) un período para mantener la temperatura, y (4) un período para disminuir la temperatura.
Mantas o cubiertas aislantes	Se usan capas de materiales secos y porosos, como la paja y el forraje, para proporcionar aislamiento contra la congelación del concreto cuando las temperaturas lleguen a caer por debajo de 0 °C. También la cimbra se puede aislar con colchas comerciales o aislante de material fibroso de vidrio, hule-espónja, fibras de celulosa, lana de asbesto, espónja de vinilo o poliuretano que no permita la pérdida de la humedad.

Fuente: Adaptado de Kosmatka y Panarese, 1992.

Los compuestos de curado pueden impedir la adherencia del concreto endurecido con el concreto recién colado o con otros materiales, por lo que no deben usarse en zonas donde sea necesario un enlace subsecuente. Además, es importante verificar que los compuestos de curado sean compatibles con los recubrimientos que se van a aplicar a las superficies del concreto. Cuando se aplique agua para el curado, no debe estar 11 °C más fría que el concreto para evitar esfuerzos por temperatura que causen grietas. La velocidad de aplicación de los compuestos de curado debe seguir las recomendaciones del fabricante o estar en la gama de 3.6 a 4.8 m²/hr.

5.9 PRUEBAS DE FUGAS.

Las estructuras que van a contener líquidos se deben probar a fin de verificar su impermeabilidad. La prueba de fugas se debe llevar a cabo mientras las paredes del tanque estén expuestas, de modo que se puedan encontrar y reparar las fugas antes de colocar el relleno o el revestimiento del tanque. Esta prueba consiste en llenar los tanques hasta el nivel más alto y permitir que el agua permanezca ahí por un período de tiempo a fin de que se calcule la absorción y las pérdidas. Por lo anterior, es importante que en el contrato de construcción se especifique el criterio para aceptar la estructura y el método de prueba. En general, se puede decir que un tanque es aceptable si:

- a) No existen fugas o áreas húmedas visibles.
- b) El volumen de agua que se pierde por fugas en un período de tiempo dado (después de corregir las pérdidas por evaporación) es menor que la cantidad especificada. Cuando no se cuente con esta especificación, una tasa de fugas menor del 1 % del volumen del tanque en un período de 24 horas (después de la absorción y la estabilización) se considera aceptable.

5.10 TRATAMIENTO DE SUELOS.

Todos los suelos son permeables, por lo que es necesario distinguir los dos tipos de permeabilidades que se presentan: la que existe por las características propias del material, aún cuando sea homogéneo y continuo; y la debida a discontinuidades, que trae mayores dificultades.

Si los suelos finos no están agrietados son casi impermeables; por el contrario, las arenas y gravas limpias son muy permeables, por lo que requieren un recubrimiento impermeable cuando se empleen en bordos o en el fondo de lagunas. Sin embargo, cuando las arenas y gravas contienen más del 30% de arcilla serán suficientemente impermeables. Los materiales arcillosos tienen mayor permeabilidad cuando se compactan al 95 % de la prueba Próctor con humedad igual a la óptima más 2% y se verifica que no sean erosionables o colapsibles.

Cuando se requiere reducir al mínimo las infiltraciones en lagunas con fondo permeable para evitar la contaminación de acuíferos, se han utilizado con resultados satisfactorios los materiales térreos compactados, el concreto asfáltico y el recubrimiento plástico o con geomembranas. Bajo esta capa impermeable se instala un sistema de drenaje que evita la subpresión del agua y drena los gases que pudieran acumularse, reduciendo la posibilidad de levantar el recubrimiento. La mayoría de las geomembranas requieren ser cubiertas con concreto simple o suelo para que queden protegidas de los rayos solares y de la abrasión (Murillo Fernández, 1991).

Si se utiliza concreto asfáltico para impermeabilizar el fondo de un tanque, se requiere colocar dos capas: la inferior, porosa con espesor mínimo de 7.6 cm, puede ser construida con concretos de bajos contenidos de cemento asfáltico (2 a 6%) y sirve como apoyo; y la superior, compacta, impermeable, de 25 cm de espesor mínimo, contendrá cemento en proporción del 6.5 al 9.5 %. Cuando el subsuelo es blando, el equipo compacta al concreto asfáltico a su paso, pero éste "rebota" al alejarse la maquinaria, produciendo una pobre compactación. Para remediar esta situación se puede aplicar sobre la segunda capa un tratamiento superficial a base de emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido, que selle la superficie y reduzca las filtraciones. Sin embargo, es importante destacar que este tipo de recubrimiento ha manifestado un mal comportamiento por deficiente calidad y mal sellado de juntas, por lo que su uso requiere de una estricta supervisión (Murillo, 1991).

5.11 INTERCONEXIONES Y TUBERÍAS .

Cuando la cimentación es muy deformable se pueden presentar movimientos relativos entre las estructuras que someten a las conducciones e interconexiones a solicitaciones grandes que provocan fugas en los atraques o esfuerzos en las tuberías, e incluso, su ruptura. Para evitar esta situación es conveniente la instalación de válvulas seccionadoras entre los diversos módulos y fases del tratamiento y juntas flexibles en las cercanías de las estructuras, que permitan deformaciones pequeñas de las tuberías, reduciendo el riesgo de un colapso.

Todas las juntas subterráneas de tuberías que no llevan rosca, deben protegerse contra fugas y golpes de ariete 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 presión.

En los sistemas de tratamiento pequeños, el hierro fundido es el material de construcción más común para tuberías a presión; y el barro vidriado, concreto o asbesto-cemento para tuberías a gravedad. Los canales abiertos generalmente son de concreto, los cuales se recomienda que se cubran con losas y emparrillados para protegerlos del ataque de las aguas residuales.

Las tuberías de acero y de concreto se deben tratar interiormente con una protección superficial como la mencionada en el Capítulo 4 para proporcionarles una mayor durabilidad. Cuando el suelo en contacto o el ambiente sea agresivo también requieren protección exterior.

5.12 CONTROL DE CALIDAD.

Una supervisión y control de calidad durante la construcción incluye las siguientes actividades: cuidar que se realice conforme al proyecto y a las especificaciones de excavación; elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto; buen sellado de juntas; empleo de recubrimientos impermeables; y la utilización de materiales de buena calidad. Al realizar esto se evitarán sorpresas desagradables en la operación de la planta. Para facilitar el control durante el proceso constructivo, en el Anexo E se presentan formatos para llevar a cabo la supervisión de los trabajos.

Se debe llevar en orden y al día una bitácora de los trabajos correspondientes a la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento, en donde toda actividad y observación se registre y firme por quien la hizo y quien la recibió a efecto de que puedan delimitarse responsabilidades en todo momento.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO V.

ACI Manual of Concrete Practice. (1993). "350 Environmental Engineering Concrete Structures ACI. 350 R - 89". Part 4. *Bridges, Substructures, Sanitary and other Special Structures. Structural Properties.*

Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez, Max. (1996). "Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Ilustrado y Comentado". *Editorial Trillas, S.A. de C. V. México, D.F.*

Enríquez Martínez de Velasco, José Miguel. (1997). "Elaboración de procedimientos de precolocación, colocación, postcolocación y reparación del concreto para incorporación de una empresa constructora a la ISO 9000". *Tesina Diplomado en Obras de Concreto, IMCYC y División de Educación Continua de la Facultad de Arquitectura, UNAM. Julio de 1997, México, D.F.*

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. (1992). "Manual para Supervisar obras de Concreto". *México, D.F.*

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. (1970). "Problemas de reparación de concreto: causas y soluciones". *Revista del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Julio - Agosto de 1970. Vol. 8 No. 45. México, D.F.*

Kosmatka, Steven H. y Panarese, William C. (1992). "Diseño y control de mezclas de concreto". *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Agosto de 1992. México, D.F.*

Merrit, Frederick S. (1995). "Manual del Ingeniero Civil. Tomos I y III". *McGraw Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V. México, D.F.*

Murillo Fernández, Rodrigo (1991). "Obra civil de plantas de tratamiento: factores que afectan el funcionamiento" *Revista de Ingeniería Ambiental. Enero de 1991. Año 4. No. 9. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C. Sección Mexicana de la AIDIS. Pags. 6 - 18.*

Pérez Escobar, Rubisel. (1997). "Guía para el supervisor de obras de concreto". *Tesina Diplomado en Obras de Concreto, IMCYC y División de Educación Continua de la Facultad de Arquitectura, UNAM. Marzo 1993. México, D.F.*

Rizzo, Edward M. y Sobelman, Martín B. "Materiales para la reparación del concreto". *Traducción : Arcila López, Carlos A. SIKA ANDINA, S.A. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.*

Romero Álvarez, Humberto, García Ollervides, Jesús y Janetti Dávila, Juan (1996). "Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México" *Revista de Ingeniería Civil. Octubre de 1996. Número 330. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C. Ingeniería Sanitaria. Pags. 12 - 18.*

Saucedo Maciel, Alberto (1993). "Factores técnicos que afectan el funcionamiento en plantas de tratamiento de agua residual para conjuntos habitacionales", *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.*

Trigos Suárez, José Luis. (1986). "Procedimientos para la reparación de estructuras dañadas". *Revista del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Diciembre - Enero de 1986. Vol. 23 Num. 176. México, D.F.*

Zubieta Rohde, Luis (1997). "Supervisión de Obras de Concreto". *Apuntes del Diplomado en Obras de Concreto. División de Educación Continua de la Facultad de Arquitectura, UNAM e IMCYC.*

American Concrete Institute

201.2R-77 (Ratificado en 1982)

Durabilidad del concreto. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

211.1-81 (Revisado en 1993)

Proporcionamiento de mezclas. Concreto normal, pesado y masivo. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

301-89 (Revisado en 1988)

Especificaciones para el concreto estructural en edificios. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

302.IR-92 (Revisado en 1989)

Construcción de losas y pisos de concreto. Publicado por Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

305R-91 (Ratificado en 1995)

Colocación del concreto en clima caluroso. Publicado por Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

306R-88 (Ratificado en 1995)

Colocación del concreto en clima frío. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

309R-87 (Ratificado en 1992)

Compactación del concreto. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

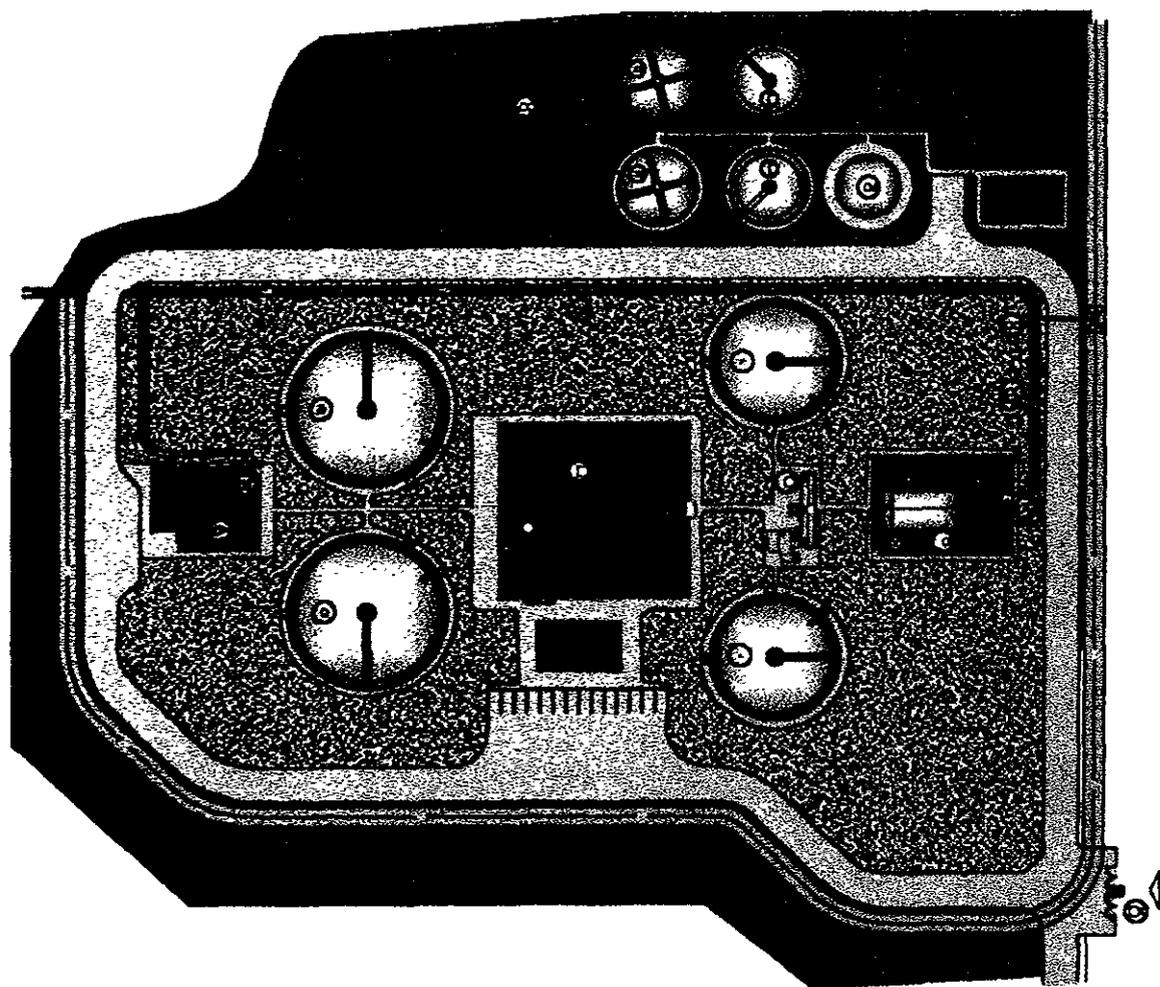
347R-94 (Ratificado en 1996)

Guía para el diseño y construcción de cimbras. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

350R-89 (Ratificado en 1992)

Estructuras sanitarias de concreto para el mejoramiento del ambiente. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

CAPÍTULO 6
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA OBRA CIVIL.



CAPÍTULO 6

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA OBRA CIVIL

La operación y el mantenimiento de una planta de tratamiento de agua residual están determinados por muchos factores, por lo que, como parte de la ingeniería de detalle, se elabora un manual que funciona como documento principal de la planta de tratamiento, ya que contiene los elementos técnicos necesarios para operar y llevar a cabo el mantenimiento de la misma.

Sin embargo, a pesar de contar con los manuales de una planta, como es poco común considerar que las obras civiles se operan y requieren mantenimiento, en general en ellos no se incluyen las estructuras, olvidando que el sistema puede trabajar con baja eficiencia por no operar ni conservar en forma correcta sus estructuras; además de que, a largo plazo, esta situación obliga a reparaciones costosas y, en casos extremos, al cierre definitivo de la planta.

Al observar esta problemática, se decidió presentar en este capítulo algunas pautas para operar y dar mantenimiento a la obra civil, y proponer un programa de respuesta ante posibles situaciones de emergencia que pudieran ocurrir durante la operación de una planta de tratamiento de agua residual.

6.1 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS .

En general, se piensa que las obras civiles no requieren de atención después de terminar su diseño y construcción, olvidando que para alcanzar y rebasar la vida útil que se propuso a las estructuras se les debe dar un mantenimiento constante, sobretodo cuando están sometidas a condiciones ambientales adversas como las que caracterizan a una planta de tratamiento de agua residual.

Observando la importancia que tienen las estructuras, es conveniente que se conserven en las instalaciones un juego de planos y especificaciones de construcción y equipamiento, a fin de realizar el mantenimiento preventivo conforme a las normas originales; y que en el manual de operación y mantenimiento se incluyan aspectos relativos a su obra física como:

- Procedimiento para renivelar tanques de concreto y estructuras vertedoras.
 - Procedimiento para vaciar y llenar los tanques, incluyendo la operación de sistemas de subdrenaje, cuando existan.
 - Control de la subpresión.
 - Reposición de recubrimientos para protección de concreto y elementos metálicos.
 - Reparación de fugas en tuberías, estructuras de concreto, bordos y atraques.
 - Reparación de geomembranas y de grietas en concreto hidráulico y asfáltico.
-

- Procedimiento de operación de cimentaciones compensadas, en su caso.
- Si existen procesos a base de lagunaje, contemplar el procedimiento de desazolve cuidando no afectar el material impermeable.

Asimismo, se recomienda que en los manuales se haga énfasis en que las reparaciones de los daños se realice de inmediato para evitar que el deterioro de las estructura e instalaciones siga, llegando, inclusive, a un grado irreversible. En la Tabla 6.1 se muestran los principales deterioros que se presentan en las estructuras de concreto y se sugieren algunas técnicas y materiales para su reparación.

Tabla 6.1 Daños que se presentan en las estructuras de concreto y sus técnicas de reparación.

Daño en el concreto	Técnica de reparación *	Materiales de reparación
Expansión álcali - agregado	Recubrimiento, encamisado, reemplazo del concreto.	Recubrimiento bituminoso, epóxicas, concreto modificado con látex, aceite de linaza, concreto de cemento portland.
Cavitación	Recubrimiento, reemplazo de concreto, encamisado, concreto lanzado, concreto de agregado precolocado.	Recubrimiento bituminoso, epóxicas, concreto modificado con látex, concreto, mortero.
Grietas activas	Calafateado, encamisado, punteado, tensado.	Selladores elásticos, elementos de envoltura.
Grietas inactivas	Agua fuertemente ácida, calafateado, recubrimiento, reemplazo del concreto, compactación en seco, superficie abierta, concreto lanzado, encamisado, chorro de arena, tensado.	Recubrimiento bituminoso, empaque seco, selladores elásticos, epóxicas, morteros expandidos, elementos de encamisado, concreto modificado con látex, concreto, lechada, mortero.
Estrellamiento de grietas	Recubrimiento, concreto lanzado, frotación con sacos, chorro de arena.	Epóxicas, aceite de linaza, concreto modificado con látex, concreto, lechada, mortero.
Formación de polvo	Agua fuertemente ácida, recubrimiento, chorro de arena, encamisado, reemplazo del concreto.	Recubrimiento bituminoso, epóxico, elementos de envoltura, aceite de linaza, endurecedores de superficie, concreto modificado con látex,
Eflorescencia	Agua fuertemente ácida, reemplazo del concreto.	Concreto, lechada, mortero.
Daños debidos al fuego	Agua fuertemente ácida, calafateado, recubrimiento, reemplazo del concreto, compactación en seco, encamisado, concreto lanzado, concreto de agregado precolocado, frotación de sacos, chorro de arena, punteado, tensado.	Mezcla rígida, selladores elásticos, epóxicas, morteros expandidos, concreto modificado con látex, concreto, lechada, mortero.
Formación de costras	Recubrimiento, reemplazo del concreto, compactación en seco, concreto lanzado.	Mezcla rígida, epóxicas, morteros expandidos, concreto modificado con látex, concreto, lechada, mortero.
Agujeros pequeños	Agua fuertemente ácida, recubrimiento, compactación en seco, reemplazo del concreto, frotación con sacos.	Mezcla rígida, epóxicas, concreto modificado con látex, lechada, mortero.
Agujeros grandes	Recubrimiento, reemplazo del concreto, concreto lanzado, compactación en seco, relleno de agujeros desde la superficie, pico de pájaro.	Epóxicas, morteros expandidos, concreto modificado con látex, concreto, mortero.
Estructuras en forma de panel	Reemplazo del concreto, compactación en seco, concreto de agregado precolocado.	Epóxicas, mezcla rígida, morteros expandidos, concreto, mortero.
Permeabilidad	Recubrimiento, encamisado, concreto lanzado, compactación en seco, reemplazo del concreto.	Bentonita, recubrimiento bituminoso, epóxicas, morteros expandidos, concreto modificado con látex, aceite de linaza, concreto, mortero.

* La descripción de los métodos de reparación se realiza en el siguiente apartado.
Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1970.

6.2 REPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.

Para evaluar objetivamente los daños en una estructura se requiere determinar la causa que los originó, ya que si el deterioro es provocado por un fenómeno continuo, deben tomarse las precauciones necesarias para tratar esta acción o para proteger al concreto. Los daños pueden ser resultado de: mal diseño, mano de obra deficiente, juntas mal tratadas, acción mecánica abrasiva, cavitación o erosión por efectos hidráulicos, ataque químico, corrosión de elementos metálicos ahogados en el concreto o exposición prolongada a otro medio ambiente desfavorable.

Después de conocer las causas, se debe retirar todo el concreto deteriorado hasta llegar a concreto sano para poder evaluar la magnitud del daño en función de la clasificación siguiente:

- a) *Tipo I.* Sólo llega al recubrimiento del acero de refuerzo y es reparado por razones de acabado.
- b) *Tipo II.* Este defecto va más allá del recubrimiento del acero de refuerzo, pero no excede de un tercio del peralte o espesor de la estructura de concreto.
- c) *Tipo III.* La profundidad del defecto va más allá del tercio del espesor mínimo del elemento.

Los defectos tipo I y II no requieren ser registrados en bitácora si existen menos de dos defectos en 9 m^2 , por lo que sólo se verifica su reparación. Los defectos tipo III deben registrarse para tener un seguimiento de su comportamiento.

Una vez que se conoce la causa y magnitud del daño, se escoge el tipo y extensión de la reparación. Este paso es el más difícil, ya que está en función del buen criterio por parte del ingeniero y del conocimiento de las condiciones de la estructura. La selección de la técnica y el material para una reparación dependen de la extensión del daño, de la función de la estructura, de la disponibilidad del equipo, de la mano de obra especializada, del medio ambiente adverso, de la importancia de la apariencia y de los recursos económicos disponibles para su realización. Si el daño fue ocasionado por la exposición moderada de lo que desde un principio era de mala calidad, entonces su reemplazo por material de buena calidad debe proporcionar resultados satisfactorios. Por el contrario, si el material dañado era de buena calidad, el problema es más complejo y para la reparación se requiere un material con excelentes características o modificar las condiciones de exposición.

6.2.1 MEDIDAS PRELIMINARES PARA EFECTUAR REPARACIONES.

Todo concreto defectuoso se debe quitar hasta que exista certeza absoluta de haber llegado a concreto sano, e incluso puede ser necesario extraer más concreto para dar una forma adecuada a la cavidad. Es recomendable realizar cortes con sierra alrededor del área por reparar, ya que de esta manera se eliminan los bordes irregulares y, si es posible, los cortes deben hacerse con una ligera inclinación de manera que el área de la base de reparación sea mayor que su superficie para producir una acción de cuña.

Después se debe limpiar la superficie del concreto, removiendo todas las partículas sueltas, compuestos de curado y cualquier otro material ajeno. Los métodos de limpieza dependen del tamaño de la reparación y de la naturaleza de los materiales extraños, siendo los más empleados:

aire comprimido, cepillo de alambre, chorro de arena y pulido. El área a reparar y un área de al menos 15 cm alrededor de la misma deben humedecerse a fin de evitar la absorción del agua del mortero de reparación. Una vez que el agua de la superficie se ha evaporado, se debe cepillar la superficie y cubrir con una capa de agente adhesivo que establezca la unión entre el concreto o mortero fresco y el concreto base. El agente adhesivo puede ser:

a) *Mortero*. Formado por una parte de cemento por cada parte de arena fina que pase por la malla No. 30 y agua hasta que tenga una consistencia espesa, siendo importante que se sigan prácticas constructivas adecuadas para obtener una buena adherencia. No es aconsejable utilizar morteros expansores ni morteros que contengan hierro en sus agregados ya que pueden provocar agrietamientos.

b) *Compuesto hecho a base de resina epóxica*. En la actualidad se usa mucho este producto, ya que desarrolla una unión más resistente a la compresión, tensión y esfuerzos cortantes que el concreto. Este material es impermeable y tiene gran resistencia a los productos químicos y solventes. Sin embargo, las resinas epóxicas presentan algunas desventajas que incluyen: alto costo, toxicidad y corta vida una vez preparadas.

c) *Productos a base de látex que no sean reemulsificables al exponerse a humedad*. Entre ellos se encuentran los acetatos de polivinilo, el estirenobutadieno y los acrílicos. Estos compuestos presentan buena adherencia y resistencia al agrietamiento, y se aplican como una capa de adherencia o añadidos a la mezcla del concreto.

Al terminar la colocación del agente adhesivo se debe efectuar la reparación propiamente dicha, dejando que la superficie reparada seque por una hora para permitir la contracción del concreto antes de darle el acabado final e iniciar el curado de la misma.

6.2.2 TIPOS DE REPARACIONES.

La reparación de daños en las superficies del concreto debe hacerse por alguno de estos métodos:

a) *Reemplazo del concreto*. Consiste en sustituir el concreto defectuoso por otro con el mismo proporcionamiento y con la consistencia adecuada para que se convierta en una pieza integral del concreto base, siendo común el uso de cimbras para reparaciones extensas en superficies verticales. La sustitución del concreto es aconsejable cuando: la reparación del mismo exceda su costo de sustitución, no se puede alcanzar una reparación satisfactoria y durable, o en caso de fuego severo. Determinar primero el costo de sustitución de concreto sirve como guía para evaluar todas las técnicas posibles de reparación.

b) *Superficie abierta*. Se utiliza para reparar superficies horizontales y consiste en colocar mortero directamente sobre la cavidad. El material debe ser vibrado, distribuido y enrasado de tal manera que el mortero se mantenga plano y nivelado respecto al resto del concreto. Este es el método más sencillo y económico que existe.

c) *Concreto lanzado*. Se utiliza ampliamente en reparaciones de superficies horizontales y verticales que no tengan mucho refuerzo, y es uno de los métodos más aceptado y económico, ya que tiene excelente adherencia con concreto viejo y nuevo, no requiere cimbra y no desarrolla deflexiones. En esta técnica el concreto es rociado por medio de aire comprimido de dos maneras:

por vía seca o por vía húmeda. La técnica por vía seca agrega el agua a la mezcla seca en la misma boquilla donde sale el concreto; mientras que en la técnica por vía húmeda los materiales viajan por la manguera hasta la boquilla de salida ya mezclados con agua.

d) Compactación en seco. Consiste en compactar en el lugar varias capas delgadas de una mezcla muy rígida con una resistencia igual o mayor a la del concreto base y que no presente contracciones. El método no requiere de ningún equipo especial, pero el personal que aplique las capas debe estar bien entrenado en realizar este tipo de reparaciones para obtener buenos resultados. Se emplea para rellenar cavidades que tengan una relación alta de profundidad con respecto a su área como los huecos dejados por los separadores de cimbras.

e) Concreto de agregado precolocado. Aquí se llena el área por reparar con agregados de granulometría discontinua y los vacíos entre las partículas de los agregados se inundan con agua, después el agua es desplazada por mortero bombeado en el sitio. Este método tiene la ventaja de que se adhiere bien al concreto existente, tiene baja contracción y buen funcionamiento en reparaciones bajo el agua y para revestir concreto deteriorado.

f) Relleno de agujeros desde la superficie. Se utiliza para reparar miembros delgados de las estructuras de concreto y consiste en taladrar algunos agujeros desde la superficie hasta el vacío que se encontró en la parte inferior del elemento. Luego se pone una cimbra y se coloca el concreto, vaciándolo a través de los agujeros. Se recomienda el empleo de una especie de embudo para poner el concreto y lograr una presión de bombeo por gravedad que facilite rellenar la cavidad

g) Pico de pájaro. Se utiliza para rellenar cavidades con longitud vertical pequeña en miembros verticales que no pueden rellenarse desde la cara superior. Consiste en cimbrar la cavidad desde el fondo hasta unos 5 cm abajo de su borde superior y agregar una sección en cuña (pico de pájaro) desde la parte superior de la cimbra hacia afuera de la superficie terminada, en ángulo de 45°. Esto forma un depósito donde se coloca el mortero para que entre y rellene la cavidad.

h) Encamisado de elementos. Consiste en aplicar y sujetar un material sobre el concreto para que le proporcione las características necesarias de funcionamiento y restablezca la estabilidad estructural. Los materiales usados son metal, plástico y concreto; y los elementos de envoltura se pueden sujetar al concreto por medio de pernos, tornillos, clavos o adhesivos; por adherencia con el concreto existente, o por gravedad.

i) Calafateado. Consiste en rellenar cavidades comparativamente estrechas con un compuesto plástico que sella las discontinuidades. El calafateado es la mejor solución cuando se desarrollan grietas activas en un elemento de concreto y su sustitución no es posible.

j) Punteado. Es muy usado en la reparación de grietas grandes para restablecer la continuidad estructural a través de ellas. En este tipo de reparación, "los perros de punto" (ligaduras de metal en forma de U con piernas cortas) se instalan a través de la grieta en agujeros taladrados a ambos lados de la misma, por lo que la grieta se sella colocando las piernas de los perros dentro de los agujeros, anclándolos con una lechada que no se contraiga. Los perros tienen longitudes variables y se colocan a lo largo de diferentes planos para distribuir la tensión en un área mayor.

k) Tensado. Se emplea para reforzar un área de concreto y para cerrar grietas formadas por tensión. La técnica emplea cables o barras convencionales tensados para aplicar una fuerza de

compresión que cierra las grietas e incrementa la capacidad estructural. Este método tiene la desventaja de que requiere ser diseñado y ejecutado por un ingeniero experimentado.

l) Agua fuertemente ácida. Se emplea para quitar manchas y eflorescencia al usar una solución al 10 % de ácido clorhídrico. La aplicación de la solución ácida debe acompañarse por un cepillado vigoroso y, una vez alcanzado el grado de limpieza deseado, la solución debe quitarse con chorro de agua aplicado sobre la superficie. Los operarios deben poseer ropa protectora, botas y guantes de seguridad durante este trabajo. Con frecuencia la aplicación más común de éste método es junto con otras técnicas de reparación para alcanzar una adherencia duradera, ya que retira los materiales extraños que podrían impedir la adherencia del material de reparación con el concreto.

m) Recubrimiento. Son materiales de consistencia líquida o plástica que se aplican sobre el concreto para: reparar problemas superficiales (astillamiento, intemperismo, escamas); evitar filtraciones de agua; proteger al concreto de ambientes hostiles; o añadir características que no se tienen en el concreto existente, ya sea de forma permanente o temporal, requiriéndose en éste último caso aplicaciones periódicas. Los recubrimientos más utilizados son: resinas epóxicas, látex, compuestos bituminosos como aceite de linaza, compuestos de fluosilicato y preparaciones de silicio. Estos materiales penetran parcialmente en el concreto y proporcionan una película delgada sobre su superficie, por lo que tienen la ventaja de no elevar apreciablemente el nivel del elemento al cual se aplica.

n) Frotación con sacos. Sirve para mejorar la apariencia de la superficie del concreto que está manchada o tiene agujeros pequeños. Consiste en rociar el concreto y en seguida se aplica el mortero húmedo con un frotador de hule o una pieza de yute en la superficie y dentro de los vacíos. Se añade cemento blanco al mortero para igualar el color del concreto.

6.2.3 TRATAMIENTO DE FUGAS.

Las principales causas de fugas en el concreto son las discontinuidades provocadas por malas prácticas constructivas y, menos frecuente, por movimientos diferenciales entre las estructuras. Los procedimientos para reducir la permeabilidad de los elementos de concreto son similares a los métodos que se emplean para proteger el concreto contra el ataque de sustancias químicas, los cuales se comentaron en el Capítulo 4.

6.3 PROGRAMA DE RESPUESTA ANTE SITUACIONES DE EMERGENCIA.

En toda planta de tratamiento es fundamental establecer un programa de respuesta ante situaciones de emergencia con el fin de: mantener seguro al personal y al equipo, y que el sistema opere lo más eficientemente posible para prevenir daños en el cuerpo receptor del efluente. Para prever una operación de emergencia, el personal que trabaja en la planta debe elaborar un plan de contingencia detallado, en el cual se recomienda tratar los siguientes puntos:

- Fallas del proceso y/o del equipo.
- Desastres naturales y accidentes.

Independientemente de la causa, al presentarse una situación de emergencia como primer paso se debe obtener la información esencial, luego debe analizarse la situación, y por último debe

determinarse el curso de acción más apropiado y efectivo, teniendo en cuenta que la mejor manera de enfrentar los incidentes es: contando con equipo de emergencia en condiciones de operación y disponible; teniendo un plan de respuesta predeterminado; y que todo el personal esté familiarizado con los procedimientos y localización de los servicios de emergencia.

6.3.1 FALLAS DEL PROCESO Y/O DEL EQUIPO.

Cuando ocurre una falla de consideración en una planta, más de una unidad del proceso se ve afectada, por lo que es necesario establecer prioridades en los modos de operación alternativos o emergentes, ya que ciertos componentes son más importantes que otros. La prioridad de cada unidad se define en función de un análisis de vulnerabilidad del proceso de tratamiento, que consiste en seleccionar situaciones de alto riesgo y estimar el efecto que cada una tiene en los componentes individuales y en el sistema global. Los elementos que pueden quedar fuera de servicio durante las emergencias y que son vitales para la correcta operación del sistema se consideran como vulnerables y deberán ser reparados primero. A continuación se presenta una lista de las unidades del proceso, en función de la importancia que tienen en la depuración del agua residual; sin embargo, se recomienda que para cada planta de tratamiento se realice un análisis de vulnerabilidad particular.

1. Tratamiento primario.
2. Tratamiento secundario.
3. Recirculación de lodos.
4. Desinfección.
5. Tratamiento de subproductos.

La vulnerabilidad de los componentes y del sistema de tratamiento se reduce con: la prueba del equipo de proceso, de reserva y de emergencia; la integración y ejecución de un programa de mantenimiento preventivo; y la capacitación del personal para trabajar bajo el modo alternativo de operación del sistema.

Es importante que en el plan de emergencia también se incluya una descripción de la forma en que se debe mantener el tratamiento del agua residual durante un mal funcionamiento del equipo, mientras que éste es desconectado, derivado y se repara o se pone otra unidad en operación. Además, se deben establecer las actividades a realizar durante y después de una falta de suministro de energía.

6.3.2 DESASTRES NATURALES Y ACCIDENTES.

Todas las plantas de tratamiento están sujetas a la amenaza de desastres naturales o accidentes como: sismos, incendios e inundaciones, por lo que se debe preparar un plan de contingencia detallado para cada posible situación. El plan de contingencia debe identificar los posibles efectos del desastre y las acciones inmediatas que pueden minimizar su efecto. La Tabla 6.2 muestra una base general para desarrollar un plan de contingencia ante los desastres naturales y accidentes más comunes.

Una vez que se haya controlado la situación, en el programa de respuesta a emergencia se debe plantear la forma de evaluar objetivamente los daños que este incidente ocasionó, recomendándose el uso de inventarios y pruebas de eficiencia de operación.

Tabla 6.2 Programa de respuesta a emergencias durante desastres y accidentes.

DESASTRE	EFEECTO	RESPUESTA
INUNDACIÓN	a) Líneas eléctricas o equipos sumergidos. b) Acceso a la planta bloqueado. c) Riesgo de enfermedad por contacto con agua residual.	1) Notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Cortar la corriente de todas las líneas o equipos sumergido. 3) Desaguar el área (se puede usar una bomba portátil). 4) No entrar solo a áreas inundadas y sin revisar la presencia de gases o deficiencia de oxígeno. 5) Ventilar los lugares que se necesiten y usar equipo de seguridad. 6) Limpiar el área. 7) Evaluar los daños e iniciar su reparación.
HURACANES	a) Puertas, ventanas y cubiertas derribadas. b) Daño a los equipos exteriores. c) Acumulación de arena.	1) Notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Dar atención médica a los heridos. 3) Mantener al personal alejado de las áreas dañadas. 4) Interrumpir la corriente eléctrica del equipo dañado. 5) Asegurar puertas, ventanas y objetos que pudieran caerse. 6) Proteger todos los equipos expuestos.
INCENDIO	a) Personal herido. b) Daño a las instalaciones.	1) Llamar al departamento de bomberos y notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Evacuar al personal y equipo movable. 3) Usar extinguidores, hidrantes y mangueras para el control del fuego. 4) No usar agua en incendios eléctricos o por aceites. 5) Dar atención médica a los heridos.
EXPLOSIÓN	a) Incendio. b) Inundaciones. c) Pérdida de energía. d) Liberación de gas tóxico. e) Personal herido	1) Notificar al responsable de la planta de tratamiento. 2) Evacuar a todo el personal del área. 3) Poner fuera de servicio todos los equipos eléctricos de la planta. 4) Ventilar el área. 5) Dar atención médica a los heridos.
SISMO	a) Incendio. b) Pérdida de energía. c) Liberación de gas tóxico. d) Personal herido.	1) Notificar al superintendente de planta. 2) Evacuar a todo el personal del área. 3) Poner fuera de servicio todos los equipos eléctricos del área. 4) Ventilar el área. 5) Alejarse de las áreas de posible derrumbe. 6) Dar los primeros auxilios y asegurar atención médica a los heridos.

Fuente: Instituto de Ingeniería, 1996.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO VI.

Concrete Repair Digest (1996). "Guía para colocación de materiales de reparación" Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México, D. F.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1988). "Manual of Instruction for Water Treatment Plant Operators" Editorial Limusa, S. A. de C. V. México, D.F.

Instituto de Ingeniería (1996). "Manual de operación y mantenimiento de la planta tratadora de aguas residuales de Nvo. Laredo Tam." Coordinación de Bioprocesos Ambientales, México, D. F.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1970). "Problemas de reparación de concreto: causas y soluciones". Revista Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Vol 8 No. 45, julio-agosto 1970. México D.F.

Márquez Moreno, Martín. (1996). "Propuesta para la operación y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales basada en zanjas de oxidación". Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campo II. U.N.A.M.

Medrano Baca, Ma. Guadalupe. (1997). " Propuesta de una Metodología para la Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual ". *Tesis para obtener el grado de maestro en Ingeniería. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Tesis. México, D. F.*

Metcalf & Eddy (1996). "Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, Tomo I", *Mc. Graw Hill Publishing Co. U.S.A.*

Murillo Fernández, Rodrigo (1991). "Obra civil de plantas de tratamiento: factores que afectan el funcionamiento" *Revista de Ingeniería Ambiental. Enero de 1991. Año 4. No. 9. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C. Sección Mexicana de la AIDIS. Pags. 6 - 18.*

Trigos Suárez, José Luis. (1986). "Procedimientos para la Reparación de Estructuras Dañadas". *Revista del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Diciembre - Enero de 1986. Vol 23 Num. 176. México, D.F.*

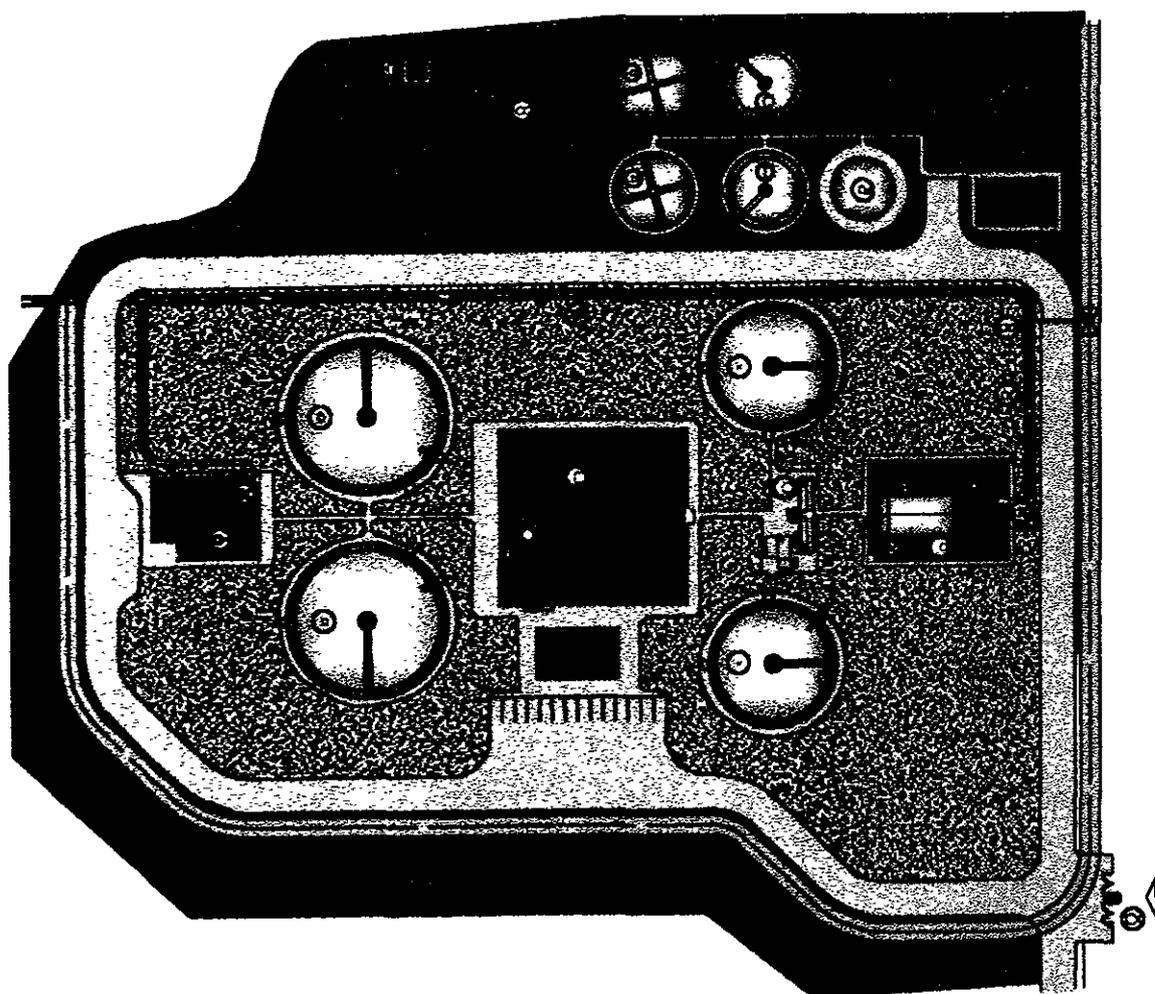
American Concrete Institute

201.2R-77 (Ratificado en 1982)

Durabilidad del concreto. Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.

CAPÍTULO 7

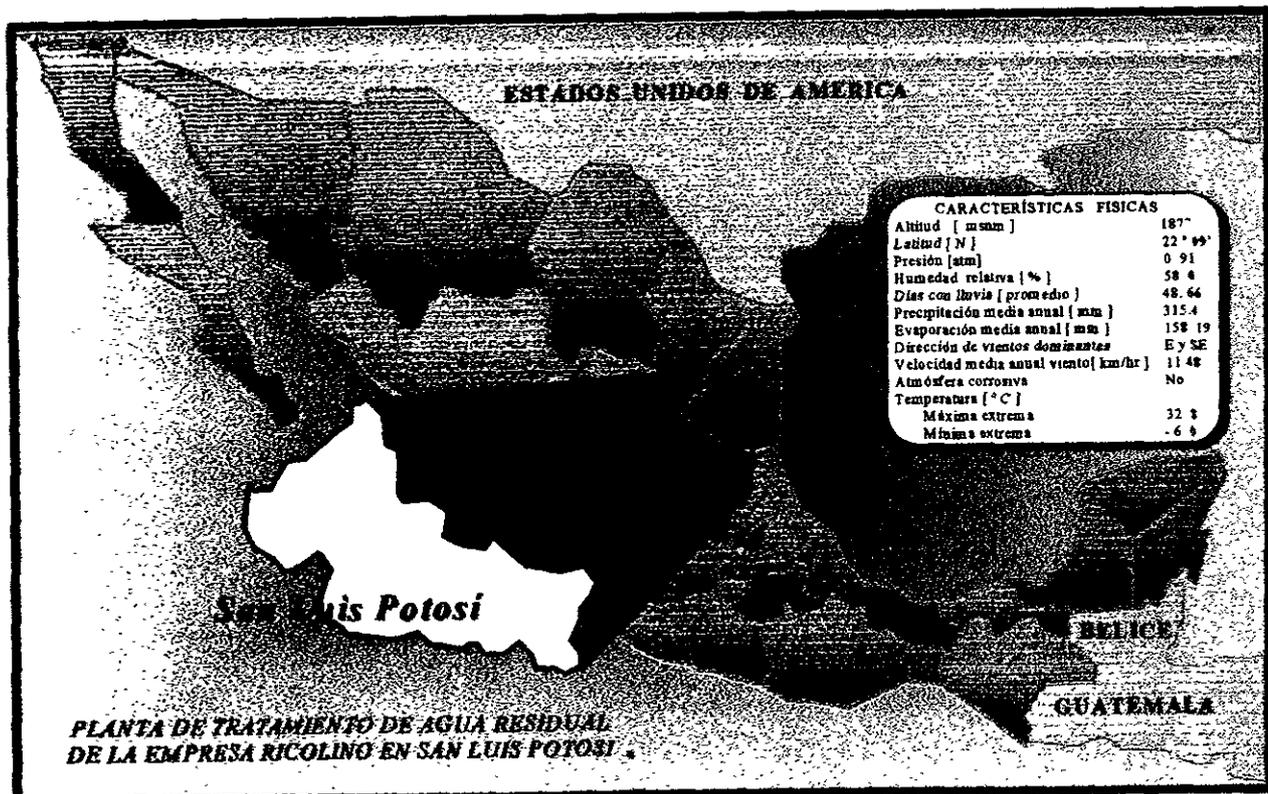
*CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
DE LA EMPRESA RICOLINO EN SAN LUIS POTOSÍ.*



CAPÍTULO 7

CASO ESTUDIO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA RICOLINO EN SAN LUIS POTOSÍ

El propósito de este proyecto fue la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo industrial generadas por la compañía RICOLINO de Occidente, S.A. de C.V. En su desarrollo se considera el diseño y la construcción de las instalaciones necesarias para el tratamiento de los efluentes residuales de la planta alimenticia ubicada en el corredor industrial de la ciudad de San Luis Potosí, para que cumplan con las condiciones particulares de descarga impuesta por las autoridades del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad. El alcance del tratamiento del agua residual es a nivel terciario, con lo que se puede recuperar parte del líquido con fines de reúso como agua de servicio en la planta y para riego de áreas verdes.



Fuente : Registros de los últimos 15 años del Servicio Meteorológico Nacional para la Ciudad de San Luis Potosí (1991).

Figura 7.1 Localización de la planta de tratamiento.

7.1 BASES DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO .

Los lineamientos de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Ricolino en San Luis Potosí se mencionan a continuación:

7.1.1 CONDICIONES DEL INFLUENTE, REQUISITOS DEL EFLUENTE Y GASTOS DE DISEÑO.

La planta está destinada para tratar los efluentes generados en el proceso de producción de dulces y chocolates de la fábrica, los cuales llegan a las instalaciones de tratamiento a través de tuberías de drenaje. El efluente de la planta de tratamiento de agua residual debe cumplir con las condiciones particulares de descarga (CPD) impuestas por las autoridades locales en 1997 de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas. En la Tabla 7.1 se presenta la caracterización del agua residual cruda y en la Tabla 7.2 los parámetros de descarga con los que se diseñó la planta de tratamiento. Además, en la Tabla 7.3 se establecen las condiciones en los límites de operación del sistema de tratamiento, tanto para el efluente como para los subproductos.

Tabla 7.1 Caracterización del agua residual cruda.

PARAMETRO	ABREVIACION	UNIDAD	VALOR
Potencial de hidrógeno	pH	u. de pH	5.4
Temperatura promedio	T	° C	42.4
Demanda Química de Oxígeno Total	DQO _T	mg/l	23,363
Demanda Química de Oxígeno Soluble	DQO _s	mg/l	21,284
Demanda Bioquímica de Oxígeno Total	DBO ₅	mg/l	12,820
Sólidos Totales	ST	mg/l	13,906
Sólidos Totales Volátiles	STV	mg/l	13,008
Sólidos Totales Fijos	STF	mg/l	898
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	2,178
Sólidos Suspendedos Volátiles	SSV	mg/l	2124
Sólidos Suspendedos Fijos	SSF	mg/l	54
Grasas y aceites	G y A	mg/l	76
Nitrógeno Total Kjeldahl	NTK	mg/l	190
Nitrógeno Ammoniacal	N-NH ₄	mg/l	3
Nitrógeno Orgánico	N-ORG	mg/l	187
Fosfatos	PO ₄	mg/l	5
Sulfatos	SO ₄	mg/l	53
Cloruros	Cl	mg/l	127
Hierro	Fe	mg/l	0.6
Dureza total	Ht	mg/l	1.7

Fuente: IBTech, 1996.

Tabla 7.2 Parámetros del efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.

Parámetros	Límite máximo permisible promedio diario	Límite máximo permisible instantáneo	Carga máxima diaria (Kg/día)**
pH	6-9	6-9	--
DBO (mg/l)	100	120	5.5
G y A (mg/l)	20	30	1.1
SST (mg/l)	100	120	5.5
Sól. Sed. (ml/l)	1	1.5	--
Sól. Dis. Totales (mg/l)	200*	250*	--
Nitrógeno total (mg/l)	30	42	1.65
Fósforo total (mg/l)	6	8	0.33
Color (unidad Pt-Co)	100*	100*	--
Coliformes tot (NMP/100 ml)	1000	1000	--

* El valor de color y sólidos disueltos totales a la descarga requerido por las autoridades es demasiado estricto y tendrá que negociarse con las autoridades en su momento.

** Estos valores deberán ser modificados para el flujo de diseño de la planta de tratamiento.

Fuente: IBTech, 1996.

Tabla 7.3 Condiciones en los límites de operación del sistema de tratamiento (efluente y subproductos).

PRODUCTOS DEL TRATAMIENTO	ESTADO FISICO	PRESION MANOMETRICA [kg/cm ²]			TEMPERATURA [°C]			FORMA DE DISPOSICIÓN
		MAX	NOR	MIN	MAX	NOR	MIN	
Agua Tratada	Líquido	ATM	ATM	ATM	35	30	10	Tubería
Lodos	Semi Sol.	ATM	ATM	ATM	35	30	10	Camiones
Biogás	Gas	ATM	ATM	AM	35	30	20	Tubería

Fuente: IBTech. 1996.

La capacidad de la planta ha sido definida de acuerdo a las expectativas de desarrollo y crecimiento de la planta productiva. Así, el sistema de tratamiento trabajará bajo los siguientes gastos:

- Gasto normal o de diseño: 172.8 m³/d (2.0 l/s)
- Gasto máximo: 190.1 m³/d (2.2 l/s)
- Gasto mínimo: 25.92 m³/d (0.3 l/s)

La planta operará en condiciones continuas las 24 horas del día durante los 365 días del año.

a) Flexibilidad de la planta de tratamiento. El diseño de la planta de tratamiento considera las flexibilidades de operación que se mencionan en seguida:

i. Falla de electricidad. Un corte del suministro afectará fundamentalmente al proceso de lodos activados y si éste dura más de 30 minutos se provocarían olores y el inicio de la muerte de los microorganismos aerobio, por lo cual la planta contará con un generador de emergencia.

ii. Almacenamiento. No se prevé almacenamiento del efluente tratado.

7.1.2 TIPO DE PROCESO DE TRATAMIENTO SELECCIONADO.

La digestión anaerobia es ideal para tratar aguas residuales con elevada concentración de DQO y DBO₅ por sus mínimos requerimientos energéticos; reducidos tiempos de retención hidráulica y, como consecuencia, del volumen del reactor; resistencia a sustancias tóxicas y a variaciones en el influente; producción de biogás que se puede emplear para generar energía; y reducida producción de lodos, los cuales se encuentran razonablemente estabilizados. De modo que estas características la hacen particularmente atractiva en el contexto actual, donde el uso eficiente de recursos y la necesidad de integrar mejor los flujos de materia y energía son elementos importantes.

Sin embargo, los procesos anaerobios alcanzan una menor calidad de agua tratada en comparación con los aerobios, por lo que se hace necesaria una etapa de postratamiento. Como conclusión, se ha observado que la selección más adecuada para tratar un agua residual de mediana o alta concentración de DBO₅ es la unión del proceso anaerobio seguido de un tratamiento aerobio.

Por lo anterior, el proceso de tratamiento aplicado es del tipo acoplado anaerobio-aerobio, es decir, la mayor carga de materia orgánica contaminante presente en la corriente del influente se removerá en un reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB) que operará bajo el principio de manto de lodos con digestión biológica anaerobia y, a continuación, la materia orgánica remanente de la corriente efluente del reactor UASB se removerá en un segundo reactor biológico aerobio con base en lodos activados en su modalidad de aireación extendida.

Es importante mencionar que al establecer como tratamiento primario al reactor anaerobio que tiene bajos costos, se permite incorporar un postratamiento aerobio de dimensiones menores y que abate el consumo de energía para la aireación, conservando la ventaja económica sobre un proceso convencional aerobio en cualquiera de sus variantes. En consecuencia, se considera que el tren de tratamiento mencionado es la mejor opción tecnológica, ya que da al agua residual el tratamiento requerido por las autoridades, tiene una producción muy baja de lodos, reducidos requerimientos energéticos y puede operar con un mínimo de personal.

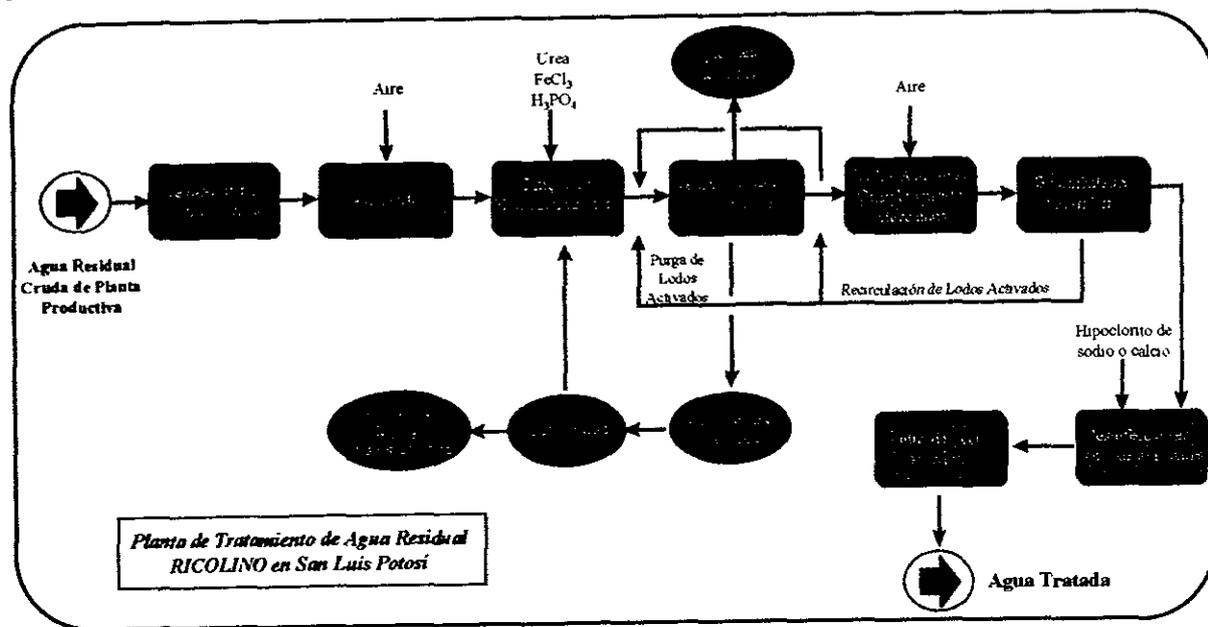


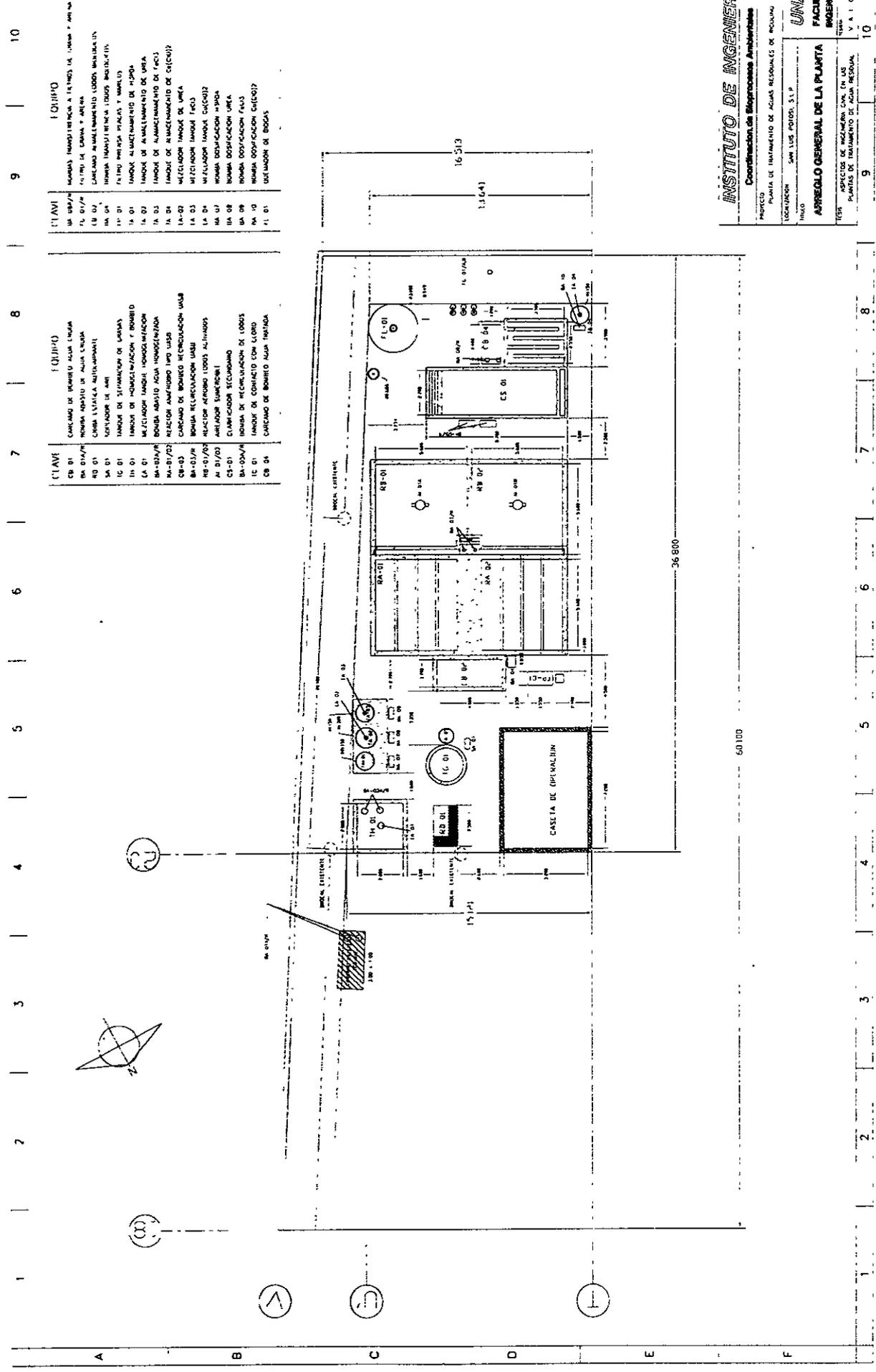
Figura 7.2 Diagrama de bloque del proceso de tratamiento.

7.1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.

La planta está diseñada para dar tratamiento terciario a un caudal promedio de agua residual de 2.0 l/s proveniente de la planta productiva (Ver Figura 7.2). El proceso de tratamiento incluye un pretratamiento a base de una criba estática y un tanque separador de grasas. El tratamiento secundario está formado por un proceso anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB) seguido de un tanque de aireación con un proceso aerobio de lodos activados y un clarificador secundario. La desinfección se efectúa en un tanque de contacto de cloro y a continuación el agua residual pasa a un filtro de lecho mixto de grava y arena para el acondicionamiento apropiado del efluente de la planta. El manejo de los lodos se realiza con una bomba de recirculación de lodos, un cárcamo de bombeo, una bomba para lodos de purga y un filtro prensa. La incineración del biogás se llevará a cabo en un quemador para este fin.

En la Figura 7.3 se muestra el arreglo general de la planta de tratamiento de aguas residuales y en la Tabla 7.4 se presenta el programa de actividades del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de RICOLINO, S.A. de C.V. mediante un diagrama de Gantt.

CAPITULO VII. CASO ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.



CLAVE		EQUIPO	
CA-01	CA-02	CARGADO DE BOMBEO AGUA LIMPIA	CARGADO DE BOMBEO AGUA LIMPIA
CA-03	CA-04	CARGA ELECTRICA AUTOMATIZADA	CARGA ELECTRICA AUTOMATIZADA
CA-05	CA-06	CONVERSION DE UNID.	CONVERSION DE UNID.
CA-07	CA-08	TANQUE DE STRATIFICACION DE LAMINAS	TANQUE DE STRATIFICACION DE LAMINAS
CA-09	CA-10	TANQUE DE HOMOGENEIZACION Y BOMBEO	TANQUE DE HOMOGENEIZACION Y BOMBEO
BA-01	BA-02	MELTANQUE TANGOR HOMOGENEIZACION	MELTANQUE TANGOR HOMOGENEIZACION
BA-03	BA-04	BOMBA ABASTO AGUA HOMOGENEIZADA	BOMBA ABASTO AGUA HOMOGENEIZADA
BA-05	BA-06	RECCION AMALGAMO EMP USAR	RECCION AMALGAMO EMP USAR
BA-07	BA-08	CARGADO DE BOMBEO RECCIONACION USAR	CARGADO DE BOMBEO RECCIONACION USAR
BA-09	BA-10	BOMBA RECCIONACION USAR	BOMBA RECCIONACION USAR
BA-11	BA-12	RECCION AFRESCO LOROS ACTIVADOS	RECCION AFRESCO LOROS ACTIVADOS
BA-13	BA-14	AFRESCO TANGOR (M)	AFRESCO TANGOR (M)
BA-15	BA-16	CLARIFICADOR SECUNDARIO	CLARIFICADOR SECUNDARIO
BA-17	BA-18	BOMBA DE RECCIONACION DE LOROS	BOMBA DE RECCIONACION DE LOROS
BA-19	BA-20	TANQUE DE CONTACTO CON LOROS	TANQUE DE CONTACTO CON LOROS
BA-21	BA-22	CARGADO DE BOMBEO AGUA TRATADA	CARGADO DE BOMBEO AGUA TRATADA

CLAVE		EQUIPO	
FL-01	FL-02	MEDIDA INMEDIATA EN UNO DE LOS TRES DE UNIDAD Y UNIDAD	MEDIDA INMEDIATA EN UNO DE LOS TRES DE UNIDAD Y UNIDAD
FL-03	FL-04	CARGADO ALMACENAMIENTO LOROS MANTENIMIENTO	CARGADO ALMACENAMIENTO LOROS MANTENIMIENTO
FL-05	FL-06	ALMO MANTENIMIENTO LOROS MANTENIMIENTO	ALMO MANTENIMIENTO LOROS MANTENIMIENTO
FL-07	FL-08	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
FL-09	FL-10	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
FL-11	FL-12	MELTANQUE TANGOR DE UNIDAD	MELTANQUE TANGOR DE UNIDAD
FL-13	FL-14	MELTANQUE TANGOR DE UNIDAD	MELTANQUE TANGOR DE UNIDAD
FL-15	FL-16	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-17	FL-18	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-19	FL-20	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-21	FL-22	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-23	FL-24	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-25	FL-26	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-27	FL-28	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-29	FL-30	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA
FL-31	FL-32	BOMBA DISTRIBUCION AGUA	BOMBA DISTRIBUCION AGUA

INSTITUTO DE INGENIERIA
 Coordinación de Mejoramiento Ambiental

PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE POLIGONO 31 P.
 LOCALIZACION: SAN LUIS POTOSI, S.L.P.
 NOMBRE: ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA

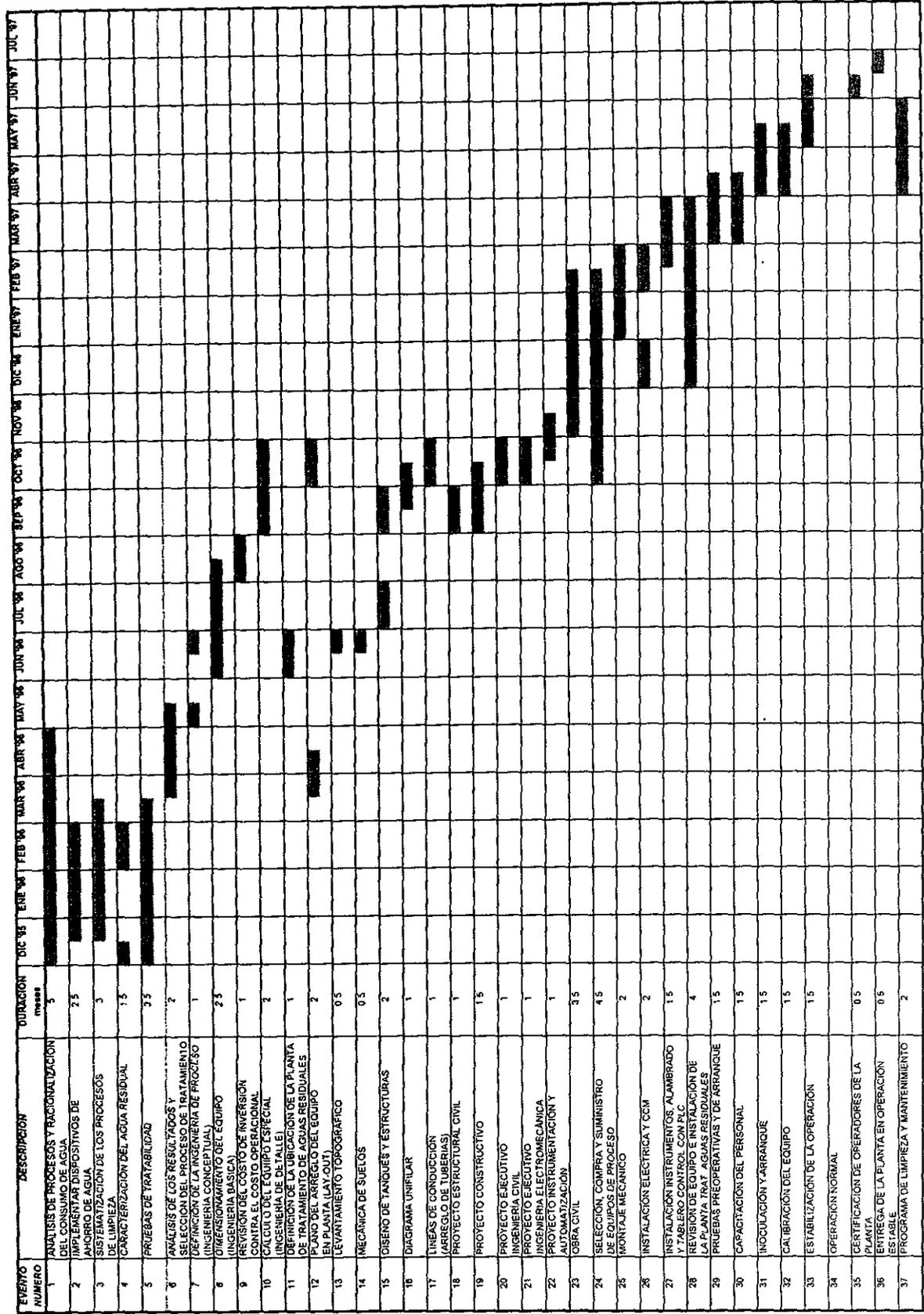
UNIVAM
 FACULTAD DE INGENIERIA

TEMA: ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE POLIGONO 31 P.
 V. A. I. C. 10

Fuente: IBTech, 1996. Figura 7.3 Arreglo general de la planta de tratamiento.

ASPECTOS DE INGENIERIA CIVIL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Tabla 7.4 Diagrama de actividades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales RICOLINO, S. A. de C. V., San Luis Potosí.



Fuente: IBTech, 1996.

7.1.4 PERFIL HIDRÁULICO LÍQUIDO Y SÓLIDO.

Como consecuencia del estudio hidráulico detallado de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento, es decir, las instalaciones físicas y las conducciones de interconexión, se obtienen dos perfiles hidráulicos, uno para líquidos y otro para sólidos. En ellos se observan los niveles de la superficie del agua o de lodos y su relación con las elevaciones de las estructuras del proceso, mostrando las cotas del terreno, del fondo y corona de las estructuras y el nivel del agua o lodos. En la Figura 7.4 se observa el perfil hidráulico para líquidos y sólidos de la planta de tratamiento aquí descrita.

7.1.5 MANEJO DEL EFLUENTE TRATADO Y SUBPRODUCTOS.

Una vez que se ha obtenido el nivel de tratamiento requerido para cumplir con las especificaciones de la norma y las condiciones particulares de descarga, se podrá reutilizar el efluente tratado para irrigación de suelos y áreas verdes, lavado de patios de maniobras en planta productiva, etc.

El biogás generado podría ser utilizado como fuente de energía en la planta de tratamiento de aguas residuales, e incluso en la planta productiva si el volumen producido lo permite en forma económica. Para ello será necesaria una evaluación económica del reúso del biogás. Finalmente, los lodos producidos en el tratamiento biológico podrían utilizarse como fertilizantes o mejoradores de suelo.

7.1.6 SERVICIOS AUXILIARES .

La planta de tratamiento contará con los siguientes servicios auxiliares (IBTech, 1996):

a) *Alimentación de energía eléctrica.* El suministro de energía eléctrica se efectuará desde una subestación eléctrica localizada en la planta productiva, contando con las siguientes características:

Voltaje	440, 220 y 110 Volt
Fases	3
Frecuencia	60 Hz
Factor de potencia mínimo	0.85
Forma de acometida	Vía subterránea

Los requerimientos de energía eléctrica para las instalaciones de la planta de tratamiento son:

INSTALACIÓN	VOLTS	FASES
Motores:		
Hasta de 0.9 HP	110	1
De 1 a 200 HP	220 ó 440	3
Alumbrado	120 o 220	1
Instrumentación	120	1

b) *Alimentación de energía eléctrica de emergencia.* Ésta será proporcionada por un generador de energía eléctrica localizado en la planta de tratamiento de agua residual y tendrá las siguientes características:

Fuente	Generador de emergencia alimentado con diesel
Voltaje	440, 220 y 110 Volt.
Fases	3
Frecuencia	60 Hz
Factor de potencia mínimo	0.85
Potencia necesaria	50 HP
Forma de acometida	Vía aérea

ASPECTOS DE INGENIERÍA CIVIL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

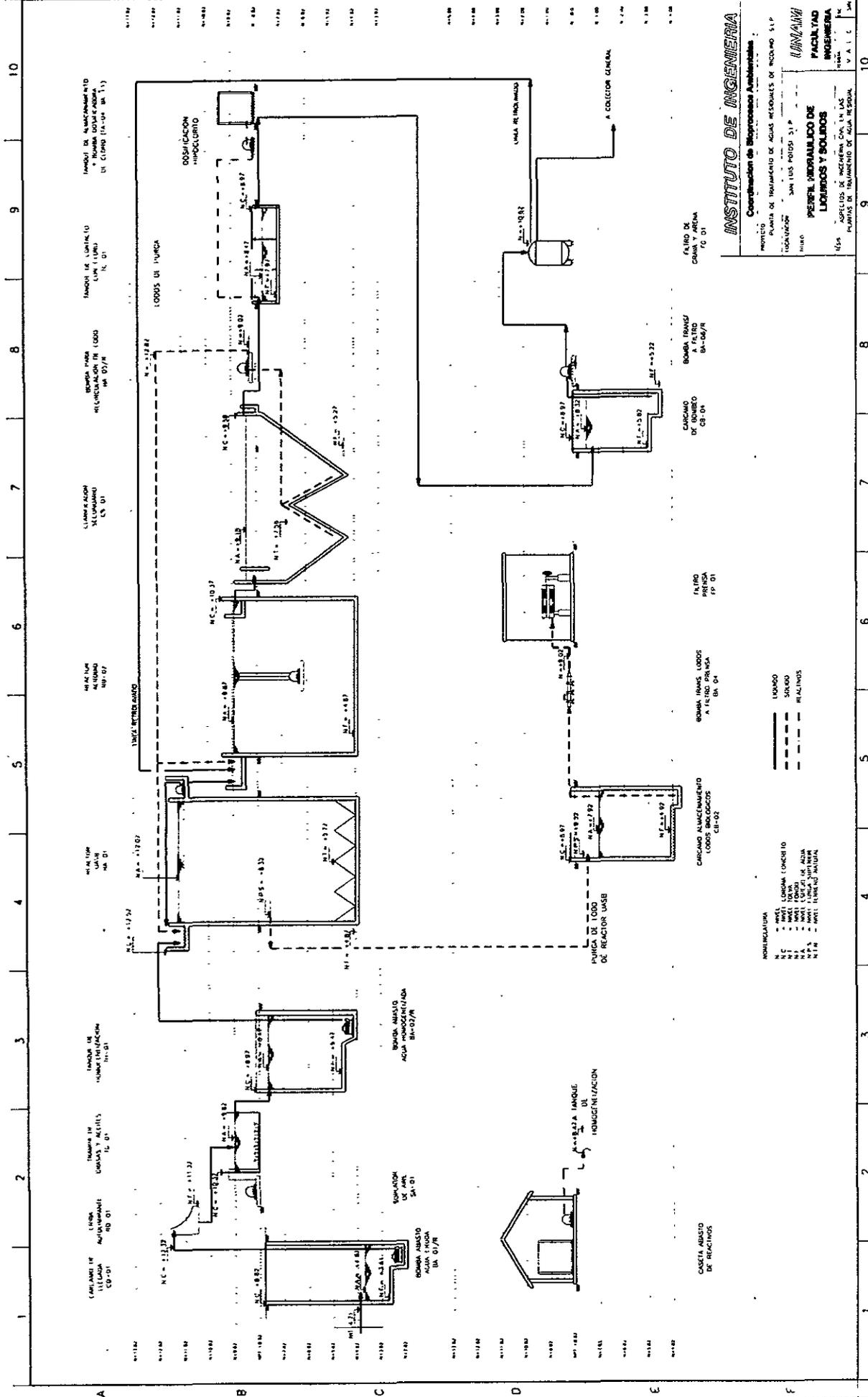


Figura 7.4 Perfil hidráulico de líquidos y de sólidos de la planta de tratamiento.

c) **Agua potable y para servicios.** Se instalará una línea de suministro de agua proveniente de pozos o de la red municipal localizada fuera de los límites de la planta. Los requerimientos son:

Presión de entrada :	60 psi
Temperatura:	25°C (77°F) o la que se tenga en la línea de suministro.

d) **Agua contra incendio y sistema de seguridad.** La planta de tratamiento contará con un sistema contra incendio, extintores, equipo móvil y portátil de seguridad.

Fuente de suministro:	Fuera de la planta de tratamiento por extracción de pozos o de la red municipal.
Presión de entrada a la planta:	100 psi
Temperatura:	25°C (77°F) o la que se tenga en la línea de suministro.

f) **Sistema de drenaje.** Sirve para vaciar tanques o equipos en la planta y deberán seguir las recomendaciones que se mencionan a continuación, evitando que los drenajes de los diversos servicios se mezclen.

Tipo	Receptor	Material
Pluvial	Colector	Asbesto-cemento
Sanitario	La misma planta de tratamiento	Asbesto-cemento

g) **Comunicaciones.** Se contará con comunicación telefónica en caseta de operación y laboratorio.

Externa	Teléfono
Interna	Teléfono y "walkie-talkie"

7.2 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

a) Las normas, códigos, especificaciones y lineamientos que se emplearon para diseñar la planta de tratamiento se comentan a continuación:

1. **Bases de diseño estructural.** El diseño de los tanques, depósitos y estructuras que contienen líquidos se realizó de acuerdo a las normas y especificaciones del Reglamento ACI-350-89 (American Concrete Institute). El diseño de las solicitaciones por viento y sismo se hizo siguiendo los lineamientos para tanques y depósitos del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Los tanques de tratamiento de la fase fisicoquímica son de acero al carbón con recubrimiento anticorrosivo, por lo que se diseñaron usando las normas AISC.

Además, la planta cuenta con una caseta que aloja el cuarto de control de máquinas (CCM), el sistema de control del proceso de tratamiento y un pequeño laboratorio para efectuar los análisis mínimos necesarios para el monitoreo y la operación del sistema. Su diseño se realizó conforme a las normas ACI-350-89 (American Concrete Institute).

2. **Estudios de mecánica de suelos.** Los estudios de mecánica de suelo consistieron en la perforación de tres pozos a cielo abierto a una profundidad de 2.00 m, obteniéndose los siguientes resultados y conclusiones:

i. La estratigrafía del terreno es: una capa vegetal con arcilla poco compacta del nivel 0.00 m al nivel -0.90 m. Posteriormente continua la capa vegetal, pero con arcilla limosa más compacta. El siguiente estrato va del nivel -1.20 m a -2.00 m y se compone de arcilla limosa de baja compresibilidad con una faja de arena limosa en su interior. Hasta esta profundidad no se encontró el nivel de aguas freáticas.

ii. La capacidad de carga del terreno es del orden de 38 ton/m^2 en promedio, pero para efecto de cálculo estructural este valor se afectó por un factor de seguridad de 0.5 ya que se encuentra en una zona de sismicidad cero.

iii. Los esfuerzos que transmiten las estructuras al terreno serán menores de 20 ton/m^2 , por lo que se empleará cimentación superficial.

iv. La profundidad de desplante no deberá ser menor de 1.5 m, de forma que el lecho bajo de las cimentaciones quede al menos 0.50 m dentro del material sano.

v. De acuerdo con las condiciones del subsuelo, no se tendrán problemas de capacidad de carga ni asentamientos, salvo en una pequeña zona en donde se presenta un lente aislado de material compresible que se removerá.

3. *Bases de diseño para equipo y tuberías.* La planta de tratamiento cuenta con tubería asbesto-cemento y acero al carbón, con soportería a base de marcos de concretos y/o ángulos de acero al carbón. Las bombas, compresores y sopladores tienen motores eléctricos que cubren una potencia de hasta 100 HP y cuenta con unidades de relevo de las mismas características.

4. *Bases de diseño para instrumentos.* Se implementó un sistema de monitoreo y control con base en un control lógico programable (PCL) con señales de tipo analógico y digital.

b) En la planta de tratamiento no se prevén ampliaciones, ya que en el diseño se contemplaron proyecciones de crecimiento a futuro. La planta será manejada en forma modular, de modo que en un inicio operará probablemente a menos del 50% de su capacidad de diseño (un módulo de un total de dos).

c) El tanque de homogeneización y el proceso anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente tienen capacidad para absorber las posibles variaciones en el gasto y en la calidad del agua residual alimentada a la planta de tratamiento.

7.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

Se trata de un proceso de depuración biológica acoplado anaerobio-aerobio, con una fase de postratamiento basada en filtración, de modo que el alcance del tratamiento se puede considerar de nivel terciario. El tren de tratamiento de la planta consiste en las siguientes fases y operaciones unitarias:

1. Pretratamiento que incluye:

- Cárcamo de bombeo de agua cruda.
- Rejilla estática autolimpiante para retención de sólidos.
- Remoción de grasas y aceites.
- Tanque de homogenización y bombeo.

2. Tratamiento con reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB).

3. Postratamiento con sistema aerobio de lodos activados y clarificador secundario.

4. Desinfección del agua con hipoclorito de sodio o de calcio y filtración.

5. Tratamiento de subproductos.

En la Tabla 7.5 se enlistan las unidades y equipos involucrados en el tren de tratamiento del agua residual, con sus respectivas claves de identificación y en la Figura 7.5 se observa el diagrama de flujo del proceso de tratamiento.

Tabla 7.5 Unidades de pretratamiento, tratamiento secundario, filtración, tanques de reactivos y equipo electromecánico de la planta de tratamiento.

CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
CB-01	Cárcamo de bombeo de agua cruda	BA-01 A/R	Bomba abasto de agua cruda
RD-01	Criba de desbaste autolimpiante	BA-02 A/R	Bomba abasto agua homogeneizada
TG-01	Tanque de separación de grasas y aceites	EA-01	Mezclador tanque de homogenización
TH-01	Tanque de homogenización	SA-01	Soplador de aire
RA-01.02	Reactor anaerobio de lecho de lodos	BA-03 A/R	Bomba recirculación UASB
CB-03	Cárcamo de bombas de recirculación efluente UASB	AI-01	Aireador sumergible
RB-01.02	Reactor aerobio de lecho de lodos	AI-02	Aireador sumergible
CS-01	Clarificador secundario	BA-04	Bomba de transferencia de lodos biológicos (purga)
TC-01	Tanque de contacto con cloro	BA-05 A/R	Bomba de recirculación de lodos aerobios
CB-02	Cárcamo almacenamiento lodos biológicos anaerobios	BA-06 A/R	Bomba de alimentación a filtro de grava y arena
CB-04	Cárcamo de bombeo de agua tratada	BA-07	Bomba dosificación de ácido fosfórico
FP-01	Filtro prensa placas y marcos	BA-08	Bomba dosificación de urea
FG-01	Filtro de grava y arena	BA-09	Bomba dosificación de cloruro férrico
FL-01	Quemador de biogás	BA- 10	Bomba dosificación de hipoclorito de calcio
TA-01	Tanque de almacenamiento de ácido fosfórico	EA- 02	Mezclador tanque de urea
TA-02	Tanque de almacenamiento de urea	EA-03	Mezclador tanque de cloruro férrico
TA-03	Tanque de almacenamiento de cloruro férrico	EA- 04	Mezclador tanque de hipoclorito de calcio
TA-04	Tanque de almacenamiento de hipoclorito de calcio		

Fuente: IBTech. 1996.

7.3.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.

El agua residual proveniente del proceso de fabricación de dulces y chocolates es llevada a la planta de tratamiento por medio de drenaje a gravedad y depositada en un cárcamo, donde es bombeada a una criba estática autolimpiante de acero inoxidable, para remover los sólidos gruesos suspendidos que pudieran causar problemas en el tratamiento (envolturas, desechos, etc.). Los sólidos retenidos son depositados en una tolva para su almacenamiento y posterior disposición fuera de la planta.

Con la finalidad de asegurar en el agua un valor de grasas y aceites que sea manejable por el reactor anaerobio, el agua pasa por gravedad a un tanque de separación de grasas por flotación. Las grasas separadas son enviadas a un contenedor para su almacenamiento y posterior disposición fuera de la planta.

Después de este pretratamiento, el agua residual es depositada por gravedad a un tanque de homogeneización, el cual tiene un tiempo de retención hidráulico de 3.1 hrs para el flujo de diseño, lo que garantiza el bombeo continuo al tratamiento secundario (reactor UASB y tanque de aireación) y controla los gastos pico y las variaciones en la concentración de contaminantes que pudieran hacer inestable el tratamiento del agua residual. En este tanque también se realiza la adición de nutrientes con una bomba dosificadora y cuenta con un equipo mezclador para asegurar una adecuada igualación de concentraciones en el agua a tratar.

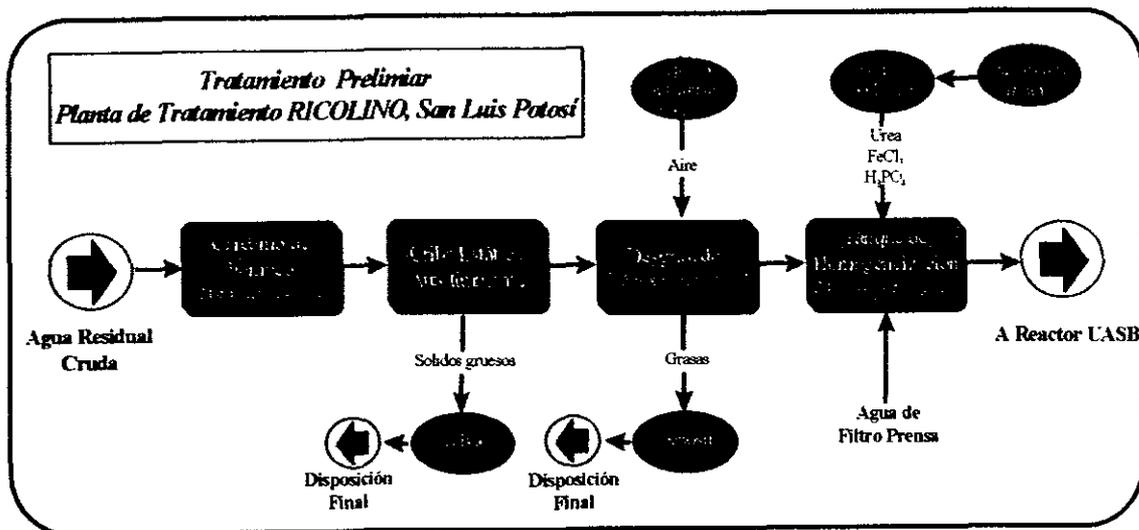


Figura 7.6 Diagrama de bloque del tratamiento preliminar.

7.3.2 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS Y FLUJO ASCENDENTE (UASB)

El agua proveniente del tanque de homogenización es distribuida a los dos reactores anaerobios de flujo ascendente por medio de una caja de distribución que asegura un reparto uniforme del agua. La caja de distribución también recibe el efluente de recirculación del proceso anaerobio y la purga de lodos del aerobios. Cada reactor tiene las siguientes dimensiones: 5.6 m de largo, 5.6 m de ancho y 6.8 m de altura, con un volumen útil de operación de 199.76 m³.

El agua es distribuida uniformemente en el fondo del reactor mediante una caja partidora y tubería de PVC, para que después fluya a través de una cama de lodo granular de alta actividad en donde se lleva a cabo la digestión anaerobia de la materia orgánica generándose biogás (metano) como subproducto, el cual es enviado a un sistema de quemado. En la parte superior del reactor existe una zona de captación de biogás y de sedimentación del agua tratada. El efluente del tanque es recolectado por medio de canaletas y conducido por un canal hasta un cárcamo de bombeo en donde se lleva a cabo la recirculación de una parte del efluente a la caja de distribución de los reactores anaerobios con objeto de retornar alcalinidad al proceso y el resto pasa por gravedad hacia una caja de distribución del sistema aerobio.

El sistema anaerobio produce una descarga de lodos, los cuales están prácticamente estabilizados y son inocuos al medio ambiente, por lo que no necesitan ser tratados. Estos lodos se alojarán en el reactor para después ser enviados a un sistema de deshidratación consistente en un filtro prensa.

Diseño del Reactor Anaerobio:

Tipo :	De flujo ascendente y lecho de lodos (UASB)
Volumen útil :	400 m ³ (2 módulos de 200 m ³)
Eficiencias de remoción :	80% DQO, 85% DBO ₅
Producción de biogás esperada :	1700 m ³ /d
Producción de lodos esperada :	515 kg SST/día Lodos al 4 %

7.3.3 TRATAMIENTO CON LODOS ACTIVADOS Y CLARIFICADOR SECUNDARIO.

El efluente del reactor anaerobio pasa por gravedad a una caja de distribución que alimenta a los dos módulos de tratamiento aerobio. Cada reactor tiene 5.6 m de longitud, 5.6 m de ancho, y 5.4 m de altura y tiene una capacidad individual de 156.8 m³. El influente del tanque de aireación es una combinación del efluente del reactor anaerobio y la recirculación del sistema aerobio. El funcionamiento de este tanque se basa en un sistema de lodos activados en su variante completamente mezclada, en donde la materia orgánica biodegradable remanente del efluente del tratamiento anaerobio será removida por vía aerobia, dando al proceso una eficiencia global de tratamiento superior al 90%. El oxígeno necesario es suministrado por un aireador sumergible.

El licor mezclado, efluente de los tanques de aireación, fluye por gravedad a un clarificador secundario, en donde la materia contaminante remanente será separada por gravedad. El clarificador secundario es de forma rectangular con las siguientes dimensiones: 2.7 m de ancho, 7.75 m de largo y 2 m de altura. El sobrenadante del clarificado es enviado al tanque de contacto con cloro. Los lodos resultantes de la sedimentación de sólidos en el clarificador son extraídos del fondo y recirculados mediante bombas de cavidad progresiva a la caja de distribución de los reactores aerobios y los lodos en exceso son enviados a la caja de distribución del reactor anaerobio.

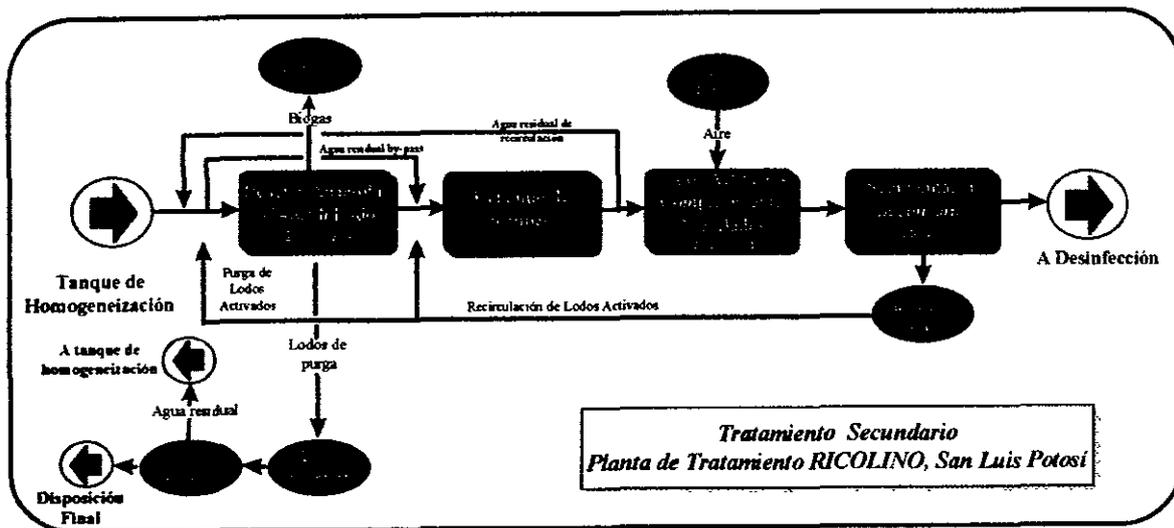


Figura 7.7 Diagrama de bloque del tratamiento secundario y disposición de subproductos.

Diseño del tanque de aireación:

Volumen útil:	314 m ³ (2 módulos de 157 m ³)
Régimen hidráulico:	completamente mezclado
Tiempo de retención	21 hrs. 47 min.
Relación F/M	0.33 kg DBO ₅ / kg SSVLM d
Tasa de recirculación:	50-100 %
Requerimientos de Oxígeno:	226 kg O ₂ / d a C. Op.
Eficiencias de remoción:	85 % DQO, 93 % DBO ₅
Producción de lodos esperada:	146 kg SST / día Lodos al 0.75 - 1.00 %

Diseño del clarificador secundario:

Tipo :	Sedimentador de sección rectangular.
Volumen útil :	24.5 m ³
Carga volumétrica superficial :	18 m ³ / m ² día

7.3.4 DESINFECCIÓN Y FILTRACIÓN.

Después de que el agua pasa por el tratamiento biológico, es alimentada al sistema de desinfección por cloro. El cloro requerido para la remoción de los microorganismos es alimentado en solución de hipoclorito directamente al efluente proveniente del clarificador secundario por medio de una bomba dosificadora en una concentración de 0.5 mg/l de Cl_2 . El tanque de contacto con cloro cuenta con una cámara de mezclado de la solución de hipoclorito con el agua residual cuyas dimensiones son: 0.50 m de longitud, 0.35m de ancho y 0.50 m de profundidad y tiene un agitador de fibra de vidrio.

Con la finalidad de proporcionar el tiempo necesario para la desinfección, la mezcla de cloro acuoso y agua residual pasa por un tanque de contacto con mamparas, de manera que se tenga un tiempo de residencia en la unidad de 25 min para el flujo de diseño. La zona de contacto con cloro tiene una longitud total de 17.0 m dividido en 5 canales con una longitud individual de 3.5 m, ancho de 0.35 m y profundidad de 0.50 m, con un bordo libre de 0.35 m. El agua desinfectada se conduce por gravedad a un cárcamo de bombeo para ser llevada hacia el filtro. Las dimensiones del cárcamo son: 1.2 m de largo, 2.4 m de ancho y 2.5 m de profundidad con un bordo libre de 0.20 m, y tiene la finalidad de proveer un flujo constante de agua clorada al filtro a presión por medio de bombas centrífugas horizontales.

Para cumplir las especificaciones de sólidos suspendidos en el efluente, el agua pasa por un filtro a presión de lecho profundo de grava y arena para eliminar los sólidos finos remanentes, siendo el paso final del proceso de tratamiento. El sistema de filtración tiene las dimensiones de 1.80 m de alto, 1.50 m de largo y 0.70 m de ancho, y se retrolavará automáticamente con el agua tratada. El gasto del efluente final es aforado por un medidor de flujo de propela y descargado al drenaje fuera de los límites de la planta de tratamiento.

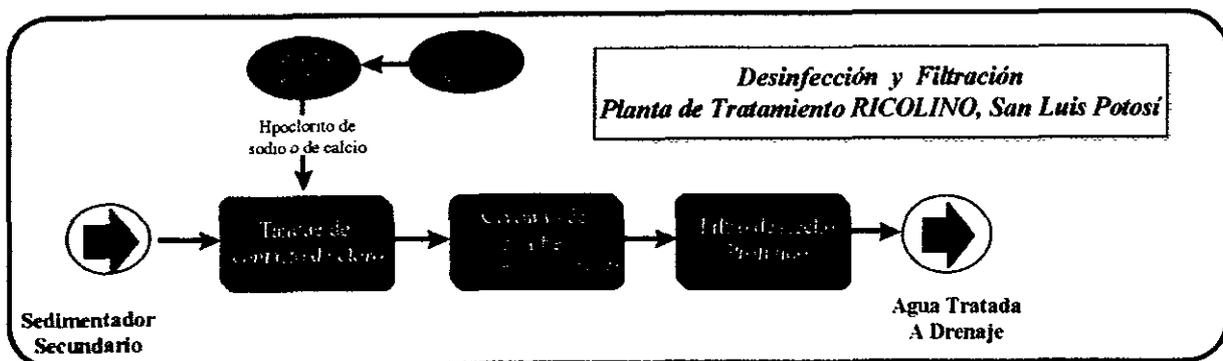


Figura 7.8 Diagrama de bloque de la desinfección y la filtración.

7.3.5 TRATAMIENTO DE SUBPRODUCTOS.

El lodo retenido en el clarificador secundario es recirculado al tanque de aireación, mientras que el lodo de purga es llevado al reactor anaerobio para que sea digerido. Esta situación da una gran ventaja a la planta de tratamiento, ya que sólo existirá la purga de lodos proveniente del reactor anaerobio que, como se mencionó, están razonablemente estabilizados y son inofensivos. Estos lodos son enviados a un cárcamo de bombeo de 1.7 m de ancho, 4.00 m de longitud y 4.00 m de profundidad, con un volumen útil de 20.0 m³ y una bomba de desplazamiento positivo. Eventualmente los lodos pueden ser retornados del cárcamo de bombeo a los reactores anaerobios para su reinoculación.

Los lodos son bombeados del cárcamo a un filtro prensa para su deshidratación y disposición final fuera de la planta. Se realizarán pruebas de laboratorio para determinar las características finales de los lodos de acuerdo con la norma CRETIB, ya que podría ser factible su uso como fertilizantes o mejoradores de suelos. El agua proveniente del filtro prensa se recircula al cárcamo de bombeo inicial de la planta de tratamiento por medio de una línea de desagüe.

Diseño del filtro prensa:

Tipo : De placas y marcos.
 Capacidad : 600 kg / d sólidos. deshidratados al 25 - 35 %.

El biogás generado en el reactor anaerobio es canalizado hacia un sistema de incineración dotado de una unidad de pretratamiento (trampa de humedad y sedimentos, arrestador de flama, etc.) y un quemador con capacidad máxima de 2 200 m³/d. En un futuro, si resulta factible, el biogás podría utilizarse como combustible o en la generación de energía eléctrica para la planta productiva.

7.3.6 DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS.

Para la destrucción de coliformes se adicionará hipoclorito de sodio. Además, de acuerdo a la caracterización del agua residual se determinó la necesidad de dosificar nutrientes, ya que el contenido de nitrógeno y fósforo no es suficiente para satisfacer los requerimientos teóricos, de modo que se agregarán los siguientes elementos:

Tabla 7.6 Dosificación de reactivos.

Substancia	Nutriente	Cantidad estimada [kg / día]	Adición	Flujo de solución [l / hr]
Hipoclorito de sodio	Agente desinfectante	2.3	Solución al 12 %	0.81
Urea	Nitrogenado	22.2	Solución al 20 % continuamente	4.6
Acido fosfórico	Fosforado	32	Solución al 20 % continuamente	4.8
Cloruro férrico	Metálico	1.7	Solución al 10 % dos veces por semana	0.71

Fuente: IBTech. 1996.

El cloruro férrico sólo se adicionará en la etapa de arranque de la planta de tratamiento, después será necesaria una adición esporádica, programada en su momento.

7.4 ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES Y SECUENCIA DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS.

Las especificaciones de los materiales y la secuencia de actividades que se siguió para llevar a cabo la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Ricolino en San Luis Potosí se comentan a continuación y se observan en el Anexo Fotográfico.

7.4.1 TRABAJOS PRELIMINARES.

Las acciones que se realizaron para reconocer, delimitar y preparar el terreno donde se llevó a cabo la construcción son:

1. Delimitación, trazo y nivelación del terreno. Mediante el uso de tránsito, cinta métrica y nivel montado se levantó una poligonal cerrada para delimitar el área de la planta de tratamiento y se marcaron en el terreno los ejes, niveles y referencias que sirvieron para desarrollar la construcción.
2. Deshierbe y limpieza del terreno. Se retiraron plantas y arbustos, se removió la capa vegetal a una profundidad de 0.40 m y se limpió el terreno. También se hicieron calas para detectar instalaciones existentes, observándose la necesidad de reubicar una tubería de drenaje, ya que interfería con la construcción de las estructuras.

7.4.2 EXCAVACIONES.

Las operaciones que se realizaron para extraer y, cuando fue preciso, remover parte del terreno para proporcionar a las estructuras los niveles especificados en los planos de construcción son:

1. Excavación. La excavación se realizó a mano o mediante retroexcavadora hasta llegar a los niveles indicados en los planos. Como el material del subsuelo estaba suficientemente consolidado no fue necesario colocar ademes. De acuerdo a la estratigrafía obtenida en los estudios de mecánica de suelos, el nivel de desplante de la cimentación de las estructuras no fue menor de 1.5 m, de forma que el lecho bajo quedara al menos 0.50 m dentro del material sano.
2. Acarreos. Se transportó el material sobrante producto de la excavación hasta el sitio de tiro, considerando la carga, el transporte y la descarga.
3. Plantilla. Una vez realizada la excavación se colaron plantillas de concreto pobre con resistencia $f'_c=100 \text{ kg/cm}^2$ de 5 cm de espesor y que sobresalen 5 cm del perímetro de la estructura.

7.4.3 CIMBRADO.

En este concepto de trabajo se realizaron las siguientes actividades: armado de la cimbra; colocación de andamios, contraventeos y dispositivos para fijación; limpieza y recubrimiento con agente desmoldante de las superficies de la cimbra; descimbrado y reparación de imperfecciones.

Para la planta de tratamiento se empleo cimbra metálica, verificando antes de cada colado que tuviera la dimensión, forma, posición y preparaciones para elementos ahogados de acuerdo a lo especificado en planos; además, que fueran estancas y que los sistemas de amarre proporcionaran presión suficiente para impedir fugas de lechada. También se verificó que los dispositivos de fijación proporcionaran presión suficiente para resistir las cargas aplicadas hasta que pudieran ser soportadas por la estructura de concreto sin deflexión excesiva.

El acabado que se dio a las superficies en contacto con la cimbra varió desde quitar las rebabas y reparar las imperfecciones visibles hasta el acabado que incluyó aplanado, raspado y cepillado, el cual se realizó tan pronto como se descimbró el elemento.

7.4.4 HABILITADO Y ARMADO DEL ACERO DE REFUERZO.

En esta etapa de la construcción se realizaron las siguientes actividades: suministro, habilitado y armado del acero de refuerzo, incluyendo: amarres de alambre recocido, colocación de silletas y separadores de PVC o polietileno, soldadura, elevación al nivel requerido, etc. Además se verificó que se realizaran las pruebas de laboratorio al acero (tensión), que no tuviera oxidación

exagerada y que estuviera exento de aceite y grasas. La supervisión verificó la separación, diámetro y plomeo del acero de refuerzo y dio el visto bueno antes de realizar el colado.

Se empleó acero de refuerzo corrugado grado 60 con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ que cumpliera con las especificaciones de la ASTM-A-615. Su habilitado y armado se realizó de acuerdo al reglamento ACI 318 R-89.

7.4.5 COLADO DEL CONCRETO .

El concreto empleado se elaboró con cemento tipo V, resistencia elevada a los sulfatos, de acuerdo a la norma ASTM C-150-86 y con agregados que cumplieran con la norma ASTM C-33. El tamaño de los agregados fue tan grande como resultara práctico y consistente con el elemento estructural por colar, pero en ningún caso mayor que una quinta parte de la separación menor entre los lados de la cimbra. En la elaboración del concreto se realizaron las siguientes actividades:

a) Revoltura. Cuando el concreto era colocado en elementos estructurales, la revoltura era premezclada. Si el concreto resultante era empleado en elementos no estructurales como pequeños colados cuyo volumen no excediera de 1 m^3 se emplearon revolturas hechas a mano.

b) Prueba de revenimiento. La prueba de revenimiento se usó como criterio para aceptar o rechazar el concreto fresco.

c) Pruebas de especímenes. Se tomaron muestras formadas por dos especímenes para obtener su resistencia a la compresión axial a los 7 y 28 días en un laboratorio autorizado y se comparó con los resultados obtenidos en especímenes curados en campo bajo las mismas condiciones de curado que la estructura que representan.

d) Colado. El concreto fue colocado por medio de trompas de elefante para evitar la segregación por la caída y permitir que éste fluyera a través del acero de refuerzo. No se permitió una caída libre de más de 1.2 m a través del armado. En losas y trabes el concreto se depositó lo más cerca posible de su posición final, en capas casi horizontales de 30 a 60 cm para evitar la segregación y el apilamiento del concreto.

Antes de realizar el colado se limpio la cimbra de toda partícula extraña o concreto endurecido y se tomaron las providencias necesarias para asegurar la continuidad de los colados como: disponer de equipo de apoyo para el colado del concreto en caso de que el equipo primario fallara, contar con una fuente alternativa de suministro de concreto, etc., con lo cual se evitó la existencia de juntas frías no planeadas, inaceptables e irregulares.

e) Vibrado. El vibrado se realizó con vibradores de flecha flexible dentro de los treinta minutos posteriores a la colocación del concreto, llenando totalmente el volumen limitado por las cimbras y sin dejar huecos.

f) Acabados. El acabado que se dio a las superficies fue el extendido uniforme del concreto para nivelarlo y posteriormente el aplanado con llana.

g) Curado. Se realizó mediante un curado húmedo que inició tan pronto como se terminaron las actividades de acabado y se prolongó por 7 días.

h) Construcción de atraques de concreto simple en piezas especiales. Se colaron atraques de concreto simple en las piezas especiales para absorber las cargas que el transporte de agua implica. Para su construcción se empleó concreto con $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

7.5 COMENTARIOS GENERALES DEL PROYECTO.

La especificación de los materiales y la secuencia de actividades que se siguió para llevar a cabo la construcción de la planta de tratamiento de agua residual de la empresa Ricolino en San Luis Potosí se comenta a continuación y se observa en el Anexo Fotográfico.

Como la ingeniería de detalle del proyecto se subcontrató, en el momento de recibir los documentos generados en esta etapa fue necesario su revisión y cotejo exhaustivo, observándose varias incongruencias en los planos estructuras, de tuberías y eléctricos ocasionadas, sobre todo, por una falta de comprensión del principio de operación del tratamiento y de las interrelaciones que existen entre cada una de las operaciones y procesos que integran la planta. Como consecuencia de esta situación, la construcción de la planta de tratamiento sufrió retrasos, ya que en varios casos se tuvo que para la obra porque no se contaba con la ingeniería de detalle.

Para evitar estos problemas que retrasan y encarecen la construcción de una planta de tratamiento, se recomienda que al iniciar un proyecto se establezcan y conozcan los objetivos del mismo, y que antes de desarrollar la ingeniería de detalle se estudie el arreglo general de la planta de tratamiento y se comprendan las características fundamentales del sistema de depuración del agua residual.

El diseño estructural de las unidades que componen la planta de tratamiento se hizo con concreto de 250 kg/cm^2 , que es la resistencia mínima recomendada para este tipo de estructuras (Ver Subcapítulo 4.3). Por solicitud del cliente, el cemento utilizado para elaborar el concreto fue tipo V, alta resistencia a los sulfatos, pero, al comparar el contenido de sulfatos obtenido de la caracterización del agua residual (53 mg/l) con la resistencia a los sulfatos de los diversos tipos de cementos, se observa que probablemente hubiera sido suficiente el empleo de un cemento tipo II.

En general, en los planos estructurales se observa que el acero de refuerzo está sobrado, ya que en promedio tienen un porcentaje (p) de 7×10^{-3} , el cual, a pesar de ser menor al porcentaje máximo definido en el ACI 318R-95 (19×10^{-3}), es mayor que el acero requerido por resistencia (4×10^{-3}). Además, en algunos casos se propusieron muros de concreto de 15 cm de espesor con un recubrimiento de 5 cm, lo cual no es recomendable (Ver Subcapítulo 3.3.5).

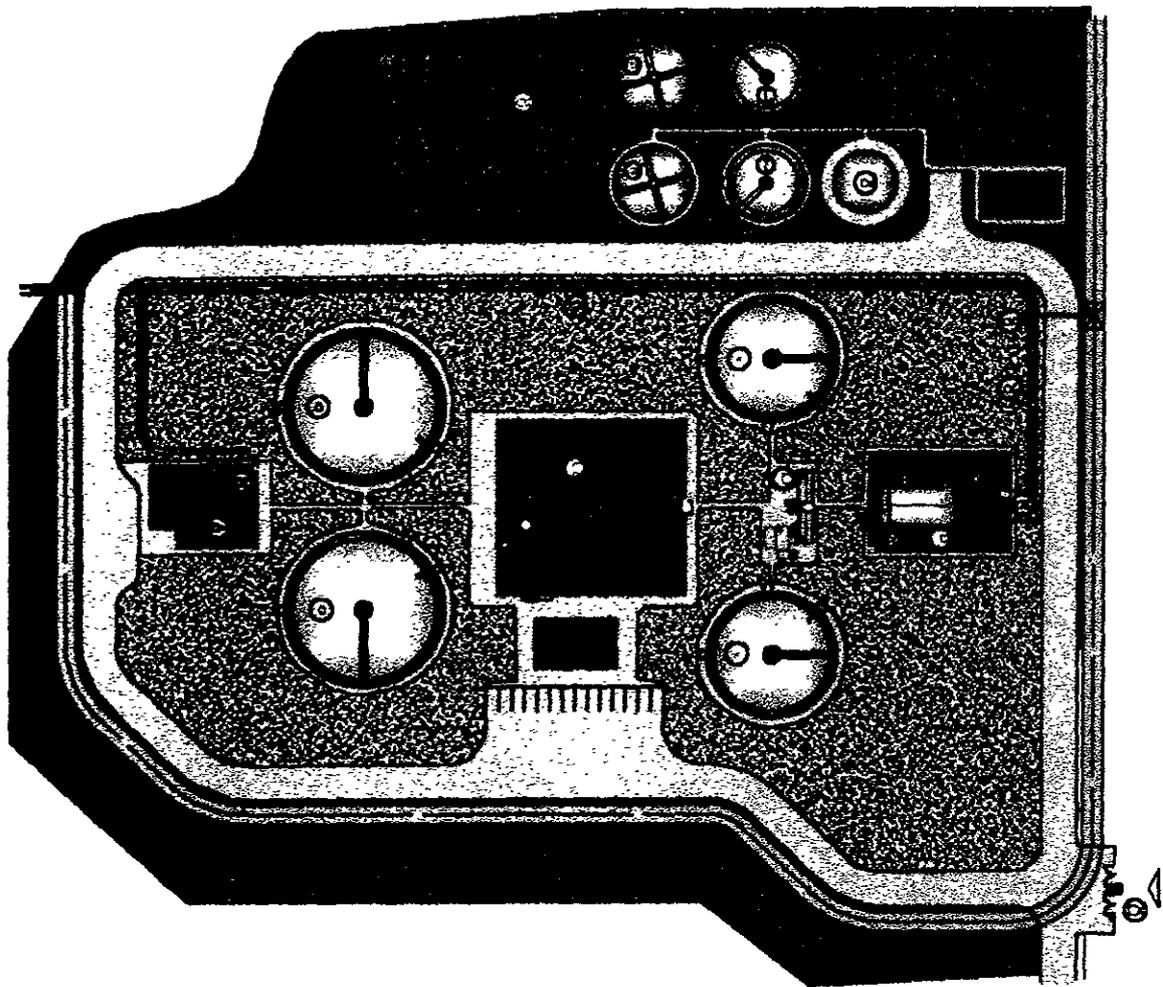
BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO VII.

American Concrete Institute. (1995). "Reglamento de las construcciones de concreto reforzado y comentarios" *Publicado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México, D. F.*

IBTech. (1996). "Descripción del proceso propuesto para la planta de tratamiento de Ricolino en San Luis Potosí" IBTech, S.A. de C. V. *México, D. F.*

IBTech. (1996). "Filosofía básica de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Ricolino, San Luis Potosí" IBTech, S. A. de C. V. *México, D. F.*

CAPÍTULO 8
CONCLUSIONES.



CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

Es importante considerar que la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en asentamientos urbanos y centros industriales, implica la realización de inversiones considerables y grandes esfuerzos para mejorar la calidad del agua de las descargas, por lo que en la planeación de estas obras se deben:

1. Plantear y evaluar varias alternativas de tratamiento del agua residual, sin olvidar la posibilidad de hacer modificaciones a los procesos de generación de las descargas o recuperación de insumos, con la finalidad de seleccionar la solución que cumpla con los requerimientos de calidad establecidos para el efluente, al menor costo posible.
2. Tomar en cuenta que para tratar el agua residual no existen proyectos tipo, ya que la caracterización del agua influente, la calidad requerida del agua tratada, los objetivos del tratamiento, el tipo de subsuelo, la topografía, los procedimientos constructivos y el presupuesto asignado, son características particulares de cada planta de tratamiento.
3. Establecer y dar a conocer a todo el personal que participa en la realización del proyecto de una planta de tratamiento de agua residual los objetivos de la misma, el arreglo general de la planta y las características fundamentales del sistema de depuración del agua antes de desarrollar la ingeniería de detalle para evitar incongruencias, retrasos y, por lo tanto, el encarecimiento del proyecto.
4. Buscar una adecuada organización entre los diversos organismos responsables de cada una de las etapas del proyecto, ya que frecuentemente se cometen errores de tipo técnico que podrían evitarse al realizar un adecuado seguimiento del diseño, construcción, arranque, operación y mantenimiento de la planta.

Los principales aspectos técnicos de la ingeniería civil que se deben tomar en cuenta en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de agua residual son:

1. Las cargas a considerar en el análisis estructural son: carga muerta y carga viva que pudiera presentarse durante la construcción u operación de las estructuras; así como las cargas accidentales, incluyendo sismo (componentes impulsivos y convectivos), viento y vibración debida a equipo.
2. Al diseñar cimentaciones se debe revisar la capacidad de carga del terreno y limitar los hundimientos diferenciales y el hundimiento medio con las condiciones de carga más desfavorables. Los hundimientos diferenciales se restringen en función de la capacidad del

tanque para deformarse y agrietarse; y el hundimiento medio se limita en función de la capacidad de deformación de las tuberías y conexiones que ligan las estructuras de las diversas etapas de tratamiento, así como los requisitos de desnivel de los orificios y de las unidades vertedoras.

3. Para seleccionar el tipo de cimentación se recomienda: si se trata de terreno firme recurrir a una cimentación superficial basada en compensación total o parcial, pero si el subsuelo es inadecuado para brindar un buen apoyo a la estructura, antes de recurrir a una cimentación profunda es más conveniente considerar la posibilidad de mejorar las condiciones del terreno y cimentar superficialmente, evitando tener en la planta de tratamiento varios tipos de cimentaciones.
4. Las estructuras sanitarias pertenecen a la categoría de estructuras en las que el requisito más importante es el agrietamiento mínimo con objeto de evitar fugas, por lo que se deben diseñar tanto por resistencia como por esfuerzos de servicio.
5. El análisis hidráulico es fundamental para lograr el flujo del agua, la carga hidráulica requerida y los tiempos de retención especificados, lo cual conlleva a que el tratamiento del agua residual sea eficiente y a disminuir los costos de construcción y operación de la planta, por lo que es importante obtener y estudiar el perfil hidráulico del agua, de los sólidos y, en su caso, de los reactivos.
6. Para diseñar el proporcionamiento de las mezclas de concreto con que se construirán las estructuras de la planta de tratamiento y seleccionar el tipo de recubrimiento que requiere, se debe considerar la calidad del agua residual que manejarán a fin de determinar la presencia de productos químicos y agentes agresivos que lo pudiera dañar.
7. El procedimiento constructivo afecta notablemente el comportamiento de las estructuras del sistema de tratamiento por lo que, los métodos y secuencias de ejecución deben ser especificados claramente y supervisados de manera estricta, teniendo en cuenta que: para lograr estructuras impermeables se debe vigilar la compactación, curado y el tratamiento de juntas; y para que la resistencia al flujo sea mínima, y por lo tanto la pérdida de carga hidráulica, hay que poner especial atención en el cimbrado y acabado de las superficies.
8. A pesar de que es poco común considerar que las obras civiles requieren de atención después de terminar su diseño y construcción, es importante tener en mente que el sistema de tratamiento puede trabajar con baja eficiencia por no operar ni conservar en forma correcta sus estructuras, por lo que se recomienda conservar en las instalaciones un juego de planos y especificaciones de construcción y equipamiento para poder realizar el mantenimiento preventivo conforme a las normas originales.

ANEXO A

PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

A continuación se presentan los intervalos de tiempo de almacenamiento, preservación y el volumen de muestra requerido para realizar el análisis de las principales características del agua residual.

Tabla A.1 Tiempo de almacenamiento, preservación y volumen de muestras.

PARÁMETROS		TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO	TIPO DE ENVASE	PRESERVATIVO	VOLUMEN REQUERIDO
1	Conductividad Material flotante Olor Potencial de hidrógeno Temperatura del agua Temperatura ambiente Gasto	Ninguno	---	Determinar "in situ" o campo.	---
	Oxígeno disuelto	Ninguno	Vidrio especial	Determinar "in situ" o fijar en campo y refrigerar a 4 °C.	300 ml
2	Demanda bioquímica de oxígeno Turbiedad	6 hrs	P, V	Refrigeración a 4°C	4,000 ml
	Acidez, alcalinidad, bromuro, cloro residual, color, conductancia especial, fósforo total, ioduros, materia sedimentable, sustancias activas al azul de metileno (S.A.M), sulfitos.	24 hrs.			
	Cloruros, dureza, fluoruros, sílice, sólidos en todas sus formas, sulfatos.	7 días			
3	Metales totales, solubles o solubilizables (incluyendo arsénico, mercurio y selenio).	14 días	P, V	HNO ₃ a pH =2 5 ml/l	200 ml
4	Metales disueltos (incluyendo arsénico, mercurio y selenio).	14 días	P, V	Filtrar en campo HNO ₃ a pH =2 5 ml/l	200 ml
5	Ortofosfatos	6 hrs.	P, V	Filtrar en campo y refrigeración a 4°C	200 ml
	Fósforo total disuelto	3 días			
6	Carbonato orgánico, fosfatos hidrolizables, nitrógeno amoniacal y Kjeldahl, nitratos y nitritos.	24 hrs.	P, V	H ₂ SO ₄ a pH=2 Refrigeración a 4°C 2 ml / l	1,000 ml
	Demanda química de oxígeno (DQO).	7 días			
	Grasas y aceites.	24 hrs.	V		
7	Fenoles	24 hrs.	V	H ₃ PO ₄ a pH=4 CuSO ₄ 1 g / l Refrigeración a 4°C	500 ml
8	Plaguicidas	24 hrs.	V ámbar y tapón teflón	Refrigeración a 4°C	1,000 ml
9	Análisis bacteriológicos	6 hrs.	V esterilizado	Refrigeración a 4°C	125 ml
10	Cianuro	24 hrs.	P, V	Na OH a pH=12 Refrigeración a 4°C	500 ml
11	Sulfuros	24 hrs.	V	Acetato de zinc 2N 2ml / l Refrigeración a 4°C.	500 ml

Fuente: Adaptado de Apuntes de Contaminación del Agua, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo en la composición de una muestra se pueden retardar si se almacena a baja temperatura y no se expone a la luz.

P: Plástico, polipropileno o poliestireno.

V: Vidrio.

En seguida se describen las técnicas de análisis de laboratorio indispensables para mantener un buen control de la operación de la planta de tratamiento. También se mencionan otros parámetros ya que en concentraciones altas pueden dañar al concreto.

A.1 FIJACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO.

a) Material y equipo.

Botella Winkler de 300 ml.	2 ml
Reactivo sulfato manganoso	2 ml
Reactivo álcali - yoduro - nitruro	2 ml
Reactivo ácido sulfúrico concentrado	2 ml

b) Muestreo .

1. Destapar el frasco bajo la superficie del agua, tomar la muestra y tapar el frasco.
2. Verificar que no existan burbujas de aire atrapado y que no haya estado en contacto con el aire.

c) Procedimiento.

1. Agregar 2 ml de sulfato manganoso y 2 ml de álcali-yoduro-nitruro. La pipeta debe penetrar 5 mm en el seno del agua.
2. Una vez agregado el álcali - yoduro - nitruro se agita la muestra y se permite sedimentar el precipitado.
3. Agregar 2 ml de ácido sulfúrico concentrado y agitar por inversión, con lo cual se termina la fijación del oxígeno.

d) Resultados.

Si después de agregar las sustancias el agua es blanca, indica que no hay oxígeno disuelto; pero si es café si existe.

A.2 DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO.

a) Material y equipo.

Bureta conteniendo tiosulfato de sodio	0.025 N
Almidón.	
Agua residual con oxígeno disuelto fijo	200 ml

b) Procedimiento.

1. Tomar 200 ml del frasco de muestra donde se haya fijado el oxígeno.
2. Titular con una solución valorada de tiosulfato de sodio 0.025 N usando almidón como indicador hasta que sea incoloro.

c) Resultados.

Si se toman 200 ml de muestra, los mililitros gastados de éste último son los mg/l de Oxígeno Disuelto.

A.3 PREPARACIÓN DEL AGUA DE DILUCIÓN.

a) Material y equipo.

Agua destilada, saturada.	1 ml / l
Solución amortiguadora	1 ml / l
Sulfato de magnesio	1 ml / l
Cloruro de calcio	1 ml / l
Cloruro férrico	1 ml / l

b) Procedimiento.

1. Airear el agua destilada hasta la saturación.
2. Agregar 1 ml de solución amortiguadora, 1 ml de sulfato de magnesio, 1 ml de cloruro de calcio y 1 ml de cloruro férrico, por cada litro de agua de dilución por preparar.

A.4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.

a) Material y equipo.

Botella Winkler 300 ml.	
Probeta 1 000 ml.	
Incubadora a 20 °C durante 5 días.	
Almidón.	
Agua residual con oxígeno disuelto fijo	200 ml
Agua de dilución.	

b) Procedimiento.

1. Se vierte el agua de dilución, sin arrastrar aire, a la probeta y se agrega la muestra de acuerdo al grado de dilución requerido. Considerando el origen de las aguas residuales se recomiendan las siguientes diluciones:
 2. Se vierte la dilución mezclada a dos frascos, uno para incubación y otro para determinar el Oxígeno Disuelto inicial.
-

C A S O	DILUCIÓN SUGERIDA
Agua residual industrial	0.1 % - 1.0 %
Agua residual municipal	1.0 % - 5.0 %
Agua residual tratada	5.0 % - 25 %
Aguas naturales	25 % - 100 %

3. Al quinto día se mide el Oxígeno Disuelto de la muestra incubada como se especifica en A.2.

c) Resultados.

Para obtener la demanda bioquímica de oxígeno se emplea el oxígeno disuelto como indicador de manera que:

$$DBO_5 = \frac{OD_i - OD_f}{p} [mg/l]$$

donde :
 DBO₅ : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días.
 OD_i : Oxígeno Disuelto inicial.
 OD_f : Oxígeno Disuelto final.
 p : Por ciento de dilución expresado en decimales.

A.5 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

a) Material y equipo.

Cono Imhoff de 1 litro.
 Soporte o gradilla para sostener los conos
 Agua destilada.

b) Procedimiento.

1. Lavar el cono con jabón y agua caliente y mojarlo antes de usarlo para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.
2. Verter suavemente 1 litro de muestra bien mezclada en el cono y dejarla reposar durante una hora.
3. Después de 45 min. gire suavemente el cono para que se desprendan los sólidos que se hayan adherido a las paredes.
4. Déjese sedimentar 15 min. más.
5. Léase con las graduaciones, el volumen del material depositado.

c) Resultados.

Los sólidos sedimentables se expresan en ml de sólidos por litro en una hora. Si las muestras representan el influente y el efluente de un tanque, puede calcularse la eficiencia del tanque de la siguiente manera:

$$\frac{ml\ sólidos\ influente - ml\ sólidos\ efluente}{ml\ sólidos\ influente} \times 100 = \text{porcentaje de sólidos se dim entables eliminados}$$

A.6 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST), LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (SSF) Y LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES (SSV).

a) Material y equipo.

Mechero de gas con tripie y triángulos o un horno eléctrico (Mufla)
 Estufa a 150 °C.
 Filtro de fibra de vidrio o, en su defecto, cápsulas de porcelana de 100 ml.
 Desecador
 Balanza analítica con marco de pesas.
 Probeta graduada de 100 ml.
 Agua destilada.

b) Procedimiento.

1. Llevar los filtros a peso constante en una mufla a 550 °C y enfríese en el desecador.
2. Enjuagar un filtro de fibra de vidrio con agua destilada, secarlo en la estufa a 103 °C y pesarlo (P₁).
3. Méanse 100 ml de la muestra bien mezclada en la probeta graduada.
4. Pasar la muestra de la probeta a través del filtro. Los sólidos disueltos pasan por el filtro y los suspendidos se retienen.
5. Secar el filtro en estufa a temperatura de 103 - 105 °C
6. Enfríar a temperatura ambiente y pesar el filtro (P₂). Con esta información se obtienen los sólidos suspendidos totales.
7. Colocar el filtro con los sólidos suspendidos en una mufla a 550 °C por 15 min. Los sólidos volátiles se calcinan.
8. Enfríar a temperatura ambiente en un desecador y pesar el filtro (P₃)

c) Resultados.

La concentración de los sólidos suspendidos totales (SST), fijos (SSF) y volátiles (SSV) del agua se obtienen como:

$$\begin{aligned} SST &= (P_2 - P_1) / \text{Volumen de muestra} = [mg/l] \\ SSF &= P_3 / \text{Volumen de muestra} = [mg/l] \\ SSV &= (P_2 - P_3) / \text{Volumen de muestra} = [mg/l] \end{aligned}$$

A.7 DETERMINACIÓN DE LOS COLIFORMES FECALES.

a) Material y equipo.

Esterilizador de autoclave.
Incubadora.
Equipo de filtración: bomba de vacío, recipiente de filtración al vacío y unidad portafiltro.
Cajas Petri.
Filtros de membrana de 0.45 µm de porosidad.
Cojines absorbentes.
Medio de cultivo con: carbono, nitrógeno, azufre, fósforo y sales minerales 2 ml

b) Muestreo .

1. Emplear frascos esterilizados y que contengan tiosulfato de sodio para destruir el cloro residual.
2. Destapar el frasco bajo la superficie del agua, tomar la muestra y tapar el frasco.
3. Verificar que no existan burbujas de aire atrapado y que la muestra no haya estado en contacto con el aire.

c) Procedimiento.

1. Limpiar el lugar de trabajo y rotular las cajas petri.
2. Colocar el cojín absorbente en la caja petri y vaciar el medio de cultivo (ampolletas de 2 ml).
3. Realizar las diluciones, si se requieren, y colocar un filtro con la retícula hacia arriba en la unidad de filtración.
4. Filtrar la muestra al vacío.
5. Retirar el filtro de membrana y colocarlo con la retícula hacia arriba sobre el cojín absorbente dentro de la caja petri.
6. Se invierten las cajas petri y se incuban a 35 °C de 18 a 22 horas.
7. Se cuenta el número de colonias de coliformes fecales, que son las que adquieren un color rosa o rojo con un lustre verde - oro o metálico en su superficie.

d) Resultados.

El número de colonias de coliformes fecales por 100 ml de agua residual se obtiene como
$$\text{No. de colonias fecales / 100 ml} = \text{No. colonias} \times \text{Factor de dilución}$$

A.8 SULFATOS.

a) Material y equipo.

Espectrofotómetro
Frasco de mezclado
Bario

b) Procedimiento.

1. Estandarizar el espectrofotómetro con filtro azul y ajustar a 420 nm.
2. Introducir la celda vacía y ajustar con el botón izquierdo a 0 % de transmitancia.
3. Introducir la celda con agua de muestra sin tratar y calibrar a 100 % de transmitancia con el botón derecho.
4. Llenar el frasco con agua de muestra hasta 10 ml, agregar bario, agitar varias veces y esperar 10 minutos.
5. Introducir la celda con agua de muestra tratada y leer la absorbancia.

c) Resultados.

Si después de esperar 10 minutos se observa que la muestra con bario toma un color blanco, significa que si existen sulfatos, por lo que con la lectura de la absorbancia se entra a la curva patrón y obtiene la concentración de sulfatos.

A.9 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).

a) Procedimiento.

El pH de las aguas se mide empleando papeles de pH que cambian de color a determinados valores del pH.

b) Resultados.

El color del papel se compara con el color de series normalizadas.

REFERENCIA

- APHA-AWWA-WPFC., 1990. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 16 th Edition. American Public Health.

A continuación se propone un formato para realizar el análisis de las aguas residuales.

<p>Instituto de Ingeniería, UNAM Coordinación de Bioprocesos Ambientales</p>	Fecha : _____ Hoja No. _____ Planta de tratamiento : _____ Muestreador : _____ Localización del sitio de muestreo: _____ Hora de inicio de muestreo : _____ Hora de terminación de muestreo: _____ Laboratorista : _____ Estudio No. : _____									
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">Muestreo : _____</td> <td style="width: 33%;">Puntual <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 33%;">Compuesto <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Agua : _____</td> <td>Influente <input type="checkbox"/></td> <td>Efluente <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Gasto : _____ l/s</td> <td></td> <td>Temperatura ambiental : _____ °C</td> </tr> </table>	Muestreo : _____	Puntual <input type="checkbox"/>	Compuesto <input type="checkbox"/>	Agua : _____	Influente <input type="checkbox"/>	Efluente <input type="checkbox"/>	Gasto : _____ l/s		Temperatura ambiental : _____ °C
	Muestreo : _____	Puntual <input type="checkbox"/>	Compuesto <input type="checkbox"/>							
	Agua : _____	Influente <input type="checkbox"/>	Efluente <input type="checkbox"/>							
	Gasto : _____ l/s		Temperatura ambiental : _____ °C							
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <input type="checkbox"/> OD _____ mg/l <input type="checkbox"/> DBO _____ mg/l <input type="checkbox"/> DQO _____ mg/l <input type="checkbox"/> SST _____ mg/l <input type="checkbox"/> SDT _____ mg/l <input type="checkbox"/> pH _____ U <input type="checkbox"/> Colif. Tot. _____ NMP/100ml <input type="checkbox"/> Colif. Fec. _____ NMP/100ml <input type="checkbox"/> Color _____ Pt-Co <input type="checkbox"/> Temperatura _____ °C <input type="checkbox"/> Material flotante _____ mg/l <input type="checkbox"/> SAAM _____ mg/l <input type="checkbox"/> Conductividad eléctrica _____ mS/m <input type="checkbox"/> Alcalinidad _____ mg CaCO₃/l <input type="checkbox"/> Acidez _____ mg CaCO₃/l <input type="checkbox"/> Nitrógeno total _____ mg/l <input type="checkbox"/> Benceno _____ mg/l </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <input type="checkbox"/> Grasas y aceites _____ mg/l <input type="checkbox"/> Turbiedad _____ mg/l <input type="checkbox"/> Sólidos sediment. _____ ml/l <input type="checkbox"/> Plaguicidas _____ mg/l <input type="checkbox"/> Fósforo total _____ mg/l <input type="checkbox"/> Arsénico _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cadmio _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cianuro _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cobre _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cromo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Mercurio _____ mg/l <input type="checkbox"/> Níquel _____ mg/l <input type="checkbox"/> Plomo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Zinc _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cloruros _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cloroformo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Fenoles _____ mg/l </td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> OD _____ mg/l <input type="checkbox"/> DBO _____ mg/l <input type="checkbox"/> DQO _____ mg/l <input type="checkbox"/> SST _____ mg/l <input type="checkbox"/> SDT _____ mg/l <input type="checkbox"/> pH _____ U <input type="checkbox"/> Colif. Tot. _____ NMP/100ml <input type="checkbox"/> Colif. Fec. _____ NMP/100ml <input type="checkbox"/> Color _____ Pt-Co <input type="checkbox"/> Temperatura _____ °C <input type="checkbox"/> Material flotante _____ mg/l <input type="checkbox"/> SAAM _____ mg/l <input type="checkbox"/> Conductividad eléctrica _____ mS/m <input type="checkbox"/> Alcalinidad _____ mg CaCO ₃ /l <input type="checkbox"/> Acidez _____ mg CaCO ₃ /l <input type="checkbox"/> Nitrógeno total _____ mg/l <input type="checkbox"/> Benceno _____ mg/l	<input type="checkbox"/> Grasas y aceites _____ mg/l <input type="checkbox"/> Turbiedad _____ mg/l <input type="checkbox"/> Sólidos sediment. _____ ml/l <input type="checkbox"/> Plaguicidas _____ mg/l <input type="checkbox"/> Fósforo total _____ mg/l <input type="checkbox"/> Arsénico _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cadmio _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cianuro _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cobre _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cromo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Mercurio _____ mg/l <input type="checkbox"/> Níquel _____ mg/l <input type="checkbox"/> Plomo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Zinc _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cloruros _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cloroformo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Fenoles _____ mg/l								
<input type="checkbox"/> OD _____ mg/l <input type="checkbox"/> DBO _____ mg/l <input type="checkbox"/> DQO _____ mg/l <input type="checkbox"/> SST _____ mg/l <input type="checkbox"/> SDT _____ mg/l <input type="checkbox"/> pH _____ U <input type="checkbox"/> Colif. Tot. _____ NMP/100ml <input type="checkbox"/> Colif. Fec. _____ NMP/100ml <input type="checkbox"/> Color _____ Pt-Co <input type="checkbox"/> Temperatura _____ °C <input type="checkbox"/> Material flotante _____ mg/l <input type="checkbox"/> SAAM _____ mg/l <input type="checkbox"/> Conductividad eléctrica _____ mS/m <input type="checkbox"/> Alcalinidad _____ mg CaCO ₃ /l <input type="checkbox"/> Acidez _____ mg CaCO ₃ /l <input type="checkbox"/> Nitrógeno total _____ mg/l <input type="checkbox"/> Benceno _____ mg/l	<input type="checkbox"/> Grasas y aceites _____ mg/l <input type="checkbox"/> Turbiedad _____ mg/l <input type="checkbox"/> Sólidos sediment. _____ ml/l <input type="checkbox"/> Plaguicidas _____ mg/l <input type="checkbox"/> Fósforo total _____ mg/l <input type="checkbox"/> Arsénico _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cadmio _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cianuro _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cobre _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cromo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Mercurio _____ mg/l <input type="checkbox"/> Níquel _____ mg/l <input type="checkbox"/> Plomo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Zinc _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cloruros _____ mg/l <input type="checkbox"/> Cloroformo _____ mg/l <input type="checkbox"/> Fenoles _____ mg/l									
Observaciones : _____ _____ _____										
Fecha de entrega de este reporte : _____ _____ _____										
Muestreador	Laboratorista	Vo. Bo. Supervisión								

ANEXO B

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996

La NOM-001-ECOL-1996 se publicó el 6 de enero de 1997 y busca ajustar la normatividad a las necesidades del cuerpo receptor y al impacto global de la descarga de agua residual por medio de tres límites de descargas (A, B y C). Su objetivo es establecer los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con la finalidad de proteger su calidad y posibilitar su uso.

B.1 DEFINICIONES. En esta norma se establecen las definiciones siguientes:

Condiciones particulares de descarga. Conjunto de límites máximos permitidos en los parámetros físicos, químicos y biológicos de las descargas de agua residual, establecidos por la CNA para un determinado uso o grupo de usuarios o un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas.

Muestra compuesta. Resulta de mezclar varias muestras simples según la Tabla B.1. Para formar una muestra compuesta, el volumen de cada muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga al tomarla.

TABLA B.1 Frecuencia de muestreo para conformar muestras compuestas.

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES [Hrs.]	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Muestra simple. Se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo. El volumen necesario de cada muestra simple para formar la muestra compuesta se determina con la ecuación:

$$VMSi = VMC \left(\frac{Qi}{Qt} \right)$$

donde : VMSi : Volumen de cada muestra simple "i", [l]
VMC : Volumen de muestra compuesta necesario para realizar los análisis de laboratorio requeridos, [l]
Qi : Caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, [l / s]
Qt : Qi hasta Qn, [l / s]

Promedio diario (P.D.). Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta.

Promedio mensual (P.M.). Es el valor que resulta de calcular el promedio ponderado, en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

B.2 ESPECIFICACIONES.

La concentración de contaminantes para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales no debe exceder los valores indicados en la Tablas B.2.

Al entrar esta norma en vigor, se abrogaron de la NOM-001-ECOL-1993 a la NOM-033-ECOL-1993 y de la NOM-063-ECOL-1994 a la NOM-073-ECOL-1994. Su cumplimiento corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la CNA, y a la Secretaría de Marina en sus respectivas atribuciones.

TABLA B.2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS Y TÓXICOS.

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES Y NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDAL NATURAL (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (C)		Uso en riego agrícola (A)					
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD		
Temperatura °C (1)	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40	
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia flotante (3)	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	NA	NA	75	125
Demanda bioquímica de oxígeno total	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	NA	NA	75	150
Nitrogeno total Kjeldhl	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA
Fósforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.5	1
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

**El rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades, el límite máximo permisible de coliformes fecales para descargas de aguas residuales es de 1,000 y 2,000 NMP/100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. Además, el límite máximo de parásitos es 1 huevo de helminto por litro para riego restringido, y de 5 para riego no restringido.

- (1) Instantáneo
- (2) Muestra Simple Promedio Ponderado
- (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006
- (*) Medidos de manera total
- P. D. = Promedio Diario
- P. M. = Promedio Mensual
- N. A. = No es aplicable
- (A), (B) y (C) : Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.

ANEXO C

INFORMACIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS MÁS UTILIZADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

A continuación se describen las principales propiedades, características, forma de manejo y alimentación de las sustancias química más empleadas en el tratamiento de las aguas residuales.

Fórmula química	Nombre común	Formas disponibles	Apariencia y propiedades	Peso (kg/m ³)	Concentración comercial	Alimentación	Material de manejo
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 14 H ₂ O	Alumbre de filtrado, sulfato de aluminio	Pulverizada, granulada, triturada, en forma de tonos en bultos de 50 y 100 kg; tonos de 150 y 180 kg; tambores de 10, 50 y 125 kg. y furgones completos	De color café claro a gris verdoso; polvoriento, satúrgente, higroscópico; solución al 1% pH 3.4.	960 a 1200	Per lo menos 17% de Al ₂ O ₃ .	Alimentado en seco en forma de gránulos y triturado; concentración máxima cuando se disuelve en agua: 60 g/l.	Se maneja seco en tambores de hierro, acero y concreto; húmedo en plomo, bulto, asfalto, cedro.
Al ₂ (SO ₄) ₃ · H ₂ O	Alumbre líquido	En solución, fabricado cerca de la planta y transportado en carros tanques de acero, de 6,000 a 8,000 gal; camiones tanque de acero con recubrimiento ahuyado de 2,000 - 4,000 gal; las altas tarifas de flete hacen imposibles los embarques distantes.	Verde claro a café claro; solución al 1% pH 3.4.	1270 g/l	5.8 a 8.5 % de Al ₂ O ₃ .	Diluido a una concentración del 1% antes de aplicarlo al agua.	Tanques con recubrimiento de plomo o hule; tubería de plástico o hule endurecido.
Ca(OH) ₂	Cal hidratada, cal apagada	Polvo en bultos de 20 kg; tonos de 50 kg y furgones completos.	Blanco clásico, polvoriento e irritante; solución saturada -pH 12.4.	560 a 800	62 a 74 % de CaO.	Alimentado en seco, 60 g/l máximo y como suspensión, 110 g/l máximo.	Manguera de hule, hierro, acero, asfalto y concreto; se debe almacenar en un lugar seco
Ca(OCl) ₂ · 4H ₂ O	HAR (hipoclorito de alta resistencia), Perchloron, Pritchlor	Polvo, gránulos y perdigones en tonos de 50 kg; latas de 2, 7, 50 y 140 kg. y tambores de 360 kg.	Blanco o blanco amarillito; no higroscópico; corrosivo y oloroso.	800 a 900	65 a 70% de Cl ₂ disponible.	En forma de solución hasta una concentración de 2% (30 g/l)	Cerámica, vidrio, plásticos y tanques recubiertos de hule; almacenarse en un lugar seco y fresco; evitese el contacto con la materia orgánica.
CaO	Cal viva, cal cocida, cal química	Tonozcos, guijarros, triturada o molida en bultos a prueba de humedad de 50 kg; tonos de madera y furgones completos.	Blanca (gris claro, café); inestable; cáustica e irritante; se transforma en hidróxido de calcio con desprendimiento de calor cuando se le añade agua; solución saturada -pH 12.4.	880 a 1100	70 a 96 % de CaO	Se aplica mejor en forma de guijarros de 2 cm o triturada de manera que pase a través de una argolla de 2.5 cm; la concentración en solución varía de 165 a 285 g/l, después de apagarla diluiría a 110 g/l (solución al 10 %).	Manéjese en seco en: hierro, acero, concreto; apagada en: hierro, acero, manguera de hule y concreto. Almacénese en recipientes herméticos pero no por más de 60 días.

Fuente : Christopher R. Schulz y Daniel A. Okun. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo, 1990. Estructuras Sanitarias de Concreto para el Mejoramiento del Ambiente. Comité ACI 350.

* Acción agresiva en el concreto.

ASPECTOS DE INGENIERÍA CIVIL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Fórmula química	Nombre común	Formas disponibles	Apariencia y propiedades	Peso [kg/m ³]	Concentración comercial	Alimentación	Material de manejo
CaO, CaOCl ₂ , 3H ₂ O	Polvo blanqueador, cloruro de cal.	Polvo en tambores de 45, 135 y 350 kg.	Blanco, corrosivo y oloroso, inestable, se deteriora.	720 a 800	25 a 37 % de Cl ₂ disponible.	Se debe disolver y mezclar totalmente en un tanque, seguido de un período de sedimentación para remover los sólidos insolubles; aproximadamente 30 g/l hacen una solución al 1% de Cl ₂ disponible.	Vidrio, hule, barro, madera; se debe almacenar seco.
Cl ₂	Gas cloro, cloro líquido	Gas licuado a presión en cilindros de acero de 50 y 70 kg, recipientes de 1 ton, furgones con recipientes de 15 ton y carros tanque de 16, 30 y 55 ton de capacidad. Triturado, pulverizado o terrones en bultos de 50 kg y toneles o tambores de 200 kg.	Gas amarillo verdoso, picante, corrosivo, más pesado que el aire, nocivo para la salud.	Peso específico con respecto al aire 2.49	99.8 % de Cl ₂	Alimentado como gas vaporizado de un líquido y como solución acuosa (2.4 g/l o más) por medio de un alimentador de gas o clorador.	Líquido o gas secos, manejarse con hierro sin galvanizar, cobre y acero; gas húmedo, con vidrio, plata o hule endurecido.
CuSO ₄ , 5H ₂ O	Sulfato de cobre *	Triturado, pulverizado o terrones en bultos de 50 kg y toneles o tambores de 200 kg.	Cristales azul claro o polvo azul pálido; venenoso.	1200 a 1400 (triturado); 1200 a 1300 pulverizado, y 1000 como terrones.	99% puro	Se aplica mejor triturado y como polvo; concentración máxima 30 g/l.	Acero inoxidable, asfalto, hule, plásticos y cerámica.
FeCl ₃ (anhídrido y como solución); FeCl ₃ , 6 H ₂ O (cristales)	Cloruro de hierro, ferriclor	Solución en garrafones de 20 y 50 litros y en camiones tanque; terrones y gránulos en cuifetes de 45, 180 y 200 kg y en tambores de 65, 160 y 280 kg.	Solución: jarabe café oscuro; cristales: terrones café-amarillos; anhídrido: verde, negro. Higroscópico, muy corrosivo; solución al 1% pH 2.0.	Solución 1,440; cristales, 1000; compuesto químico 1,440	En solución debe contener 35 a 40 % cristales, 60 % y anhídrido 96 y 97% de FeCl ₃	En forma de solución contenido hasta un 45% de FeCl ₃ (800 g/l para la forma anhídrido).	Hule, vidrio, cerámica y plásticos.
Fe ₂ (SO ₄) ₃ , 3H ₂ O y Fe ₂ (SO ₄) ₃ , 2H ₂ O	Ferrifloc, Ferriclar, sulfato de hierro.	Gránulos en bultos de 50 kg, tambores de 180 y 190 kg, y furgones completos.	2H ₂ O café rojizo, 3H ₂ O gris rojizo; higroscópico, muy corrosivo.	Aproximado 1150	El de 3H ₂ O debe contener 18.5 % de Fe; el de 2H ₂ O debe contener 21 % de Fe.	La alimentación es mejor en seco, 120 a 290 g/l, tiempo de residencia en disolventador 20 min.	Seco puede manejarse en hierro, acero y concreto; húmedo en hule, acero inoxidable, plomo y cerámica. Se debe almacenar en recipientes herméticos.
FeSO ₄ , 7H ₂ O	Caparrosa, sulfato de hierro, sulfato de azúcar, vitriolo verde.	Gránulos, cristales, polvo y terrones en bultos de 50 kg, toneles de 180 kg y a granel.	Verde a café - amarillento; higroscópico, muy corrosivo.	Aproximado 1010 a 1060	20 % de Fe.	Se aplica mejor como gránulos secos, 60 g/l, tiempo de residencia en disolventador 5 min.	Manéjese seco en hierro, acero y concreto; húmedo, en plomo, hule, hierro, asfalto, cedro y acero inoxidable, almacénese seco en recipientes herméticos.
Na ₂ CO ₃	Sosa comercial	Cristales y polvo en bultos de 50 kg, toneles de 50 kg, tambores de 10 kg y furgones completos.	Bianco, alcalino, higroscópico; solución al 1% pH 11.2.	480 a 1000, extra ligero a denso.	58 % de Na ₂ O	Se aplica mejor como cristales densos, 30 g/l, tiempo de residencia en disolventador 10 min; más prolongado si se desean concentraciones mayores.	Hierro, acero y manguera de hule.
NaOCl	Líquido blanqueador, cloro blanqueador.	Líquido en garrafones de 20 y 50 litros; camiones tanque de 4900 a 7500 litros.	Amarillo claro, corrosivo y oloroso; relativamente estable, generalmente libre de sólidos suspendidos.		12 a 15 % de Cl ₂ disponible.	Aplicase como solución diluida con agua a una concentración de 0.5 a 1.0 % de Cl ₂ disponible	Cerámica, vidrio, plástico y tanques con recubrimiento de hule; almacenar en lugar fresco, protegido de la luz.

Fuente: Christopher R. Schulz y Daniel A. Okun. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo, 1990.

Estructuras Sanitarias de Concreto para el Mejoramiento del Ambiente. Comité ACI 350.

* Acción agresiva en el concreto.

ANEXO D

PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

En las Tablas D.1 y D.2 se muestran algunos proporcionamientos de mezclas de concreto de consistencia media para elementos estructurales y en las Tablas D.3 y D.4 se observan proporcionamientos de concreto para trabajos pequeños.

Tabla D.1 Ejemplo de mezclas de prueba para concreto sin aire incluido de consistencia media, revenimiento de 7.5 a 10 centímetros.

Relación agua - cemento [kg/kg]	Tamaño máximo del agregado, cm (pulg)	Contenido de aire, por ciento	Agua, kg por metro cúbico de concreto	Cemento, kg por metro cúbico de concreto	Con arena fina, módulo de finura de 2.50			Con arena gruesa, módulo de finura de 2.90		
					Agregado fino, porcentaje del agregado total	Agregado fino, kg por metro cúbico de concreto	Agregado grueso, kg por metro cúbico de concreto	Agregado fino, porcentaje del agregado total	Agregado fino, kg por metro cúbico de concreto	Agregado grueso, kg por metro cúbico de concreto
0.40	9.5 (3/8")	3	228	572	50	736	748	54	801	682
	12.7 (1/2")	2.5	217	543	42	653	902	47	724	831
	19.0 (3/4")	2	202	504	35	570	1068	39	641	997
	25.4 (1")	1.5	193	484	32	540	1151	36	605	1086
0.45	38.1 (1 1/2")	1	178	445	29	522	1252	33	593	1181
	9.5 (3/8")	3	228	507	51	789	748	56	854	682
	12.7 (1/2")	2.5	217	481	44	700	902	48	771	831
	19.0 (3/4")	2	202	448	37	617	1068	41	688	997
0.45	25.4 (1")	1.5	193	427	34	587	1151	38	653	1086
	38.1 (1 1/2")	1	178	394	31	570	1252	35	641	1181

Fuente: Kosmatka, Panarese, 1992.

Tabla D.2 Ejemplo de mezclas de prueba para concreto con aire incluido de consistencia media, revenimiento de 7.5 a 10 centímetros.

Relación agua - cemento [kg/kg]	Tamaño máximo del agregado, cm (pulg)	Contenido de aire, por ciento	Agua, kg por metro cúbico de concreto	Cemento, kg por metro cúbico de concreto	Con arena fina, módulo de finura de 2.50			Con arena gruesa, módulo de finura de 2.90		
					Agregado fino, porcentaje del agregado total	Agregado fino, kg por metro cúbico de concreto	Agregado grueso, kg por metro cúbico de concreto	Agregado fino, porcentaje del agregado total	Agregado fino, kg por metro cúbico de concreto	Agregado grueso, kg por metro cúbico de concreto
0.40	9.5 (3/8")	7.5	202	504	50	742	748	54	807	682
	12.7 (1/2")	7.5	193	484	41	629	902	46	700	831
	19.0 (3/4")	6	178	445	35	576	1068	39	647	997
	25.4 (1")	6	169	424	32	534	1151	36	599	1086
0.45	38.1 (1 1/2")	5	157	395	29	516	1252	33	587	1181
	9.5 (3/8")	7.5	202	448	51	789	748	56	854	682
	12.7 (1/2")	7.5	193	427	43	676	902	47	747	831
	19.0 (3/4")	6	178	395	37	617	1068	41	688	997
0.45	25.4 (1")	6	169	378	34	576	1151	37	641	1086
	38.1 (1 1/2")	5	157	350	31	552	1252	35	623	1181

Fuente: Kosmatka, Panarese, 1992.

Tabla D.3 Proporciones en peso para producir un metro cúbico de concreto para trabajos pequeños.

Tamaño máximo de agregado grueso [cm]	Concreto con aire incluido				Concreto sin aire incluido			
	Cemento [kg]	Agregado fino húmedo [kg]	Agregado grueso húmedo [kg]*	Agua [kg]	Cemento [kg]	Agregado fino húmedo [kg]	Agregado grueso húmedo [kg]*	Agua [kg]
9.5 (3/8")	465	850	735	160	465	945	735	175
12.7 (1/2")	430	735	880	160	430	850	880	175
19.0 (3/4")	400	675	1040	160	400	755	1040	160
25.4 (1")	385	625	1120	145	385	720	1120	160
25.5 38.1 (1 1/2")	370	610	1200	145	370	690	1200	145

* Si se emplea piedra triturada, disminuya la cantidad de agregado grueso 50 kg y aumente la cantidad de agregado fino 50 kg.
Fuente: Kosmatka, Panarese, 1992.

Tabla D.4 Proporciones en volumen* para producir un metro cúbico de concreto para trabajos pequeños.

Tamaño máximo de agregado grueso [cm]	Concreto con aire incluido				Concreto sin aire incluido			
	Cemento	Agregado fino húmedo	Agregado grueso húmedo	Agua	Cemento	Agregado fino húmedo	Agregado grueso húmedo	Agua
9.5 (3/8")	8.2	17.9	15.2	8.9	8.2	19.9	15.2	9.7
12.7 (1/2")	7.6	15.5	18.2	8.9	7.6	17.9	18.2	9.7
19.0 (3/4")	7.1	14.2	21.6	8.9	7.1	15.9	21.6	8.9
25.4 (1")	6.8	13.2	23.2	8.1	6.8	15.2	23.2	8.9
25.5 38.1 (1 1/2")	6.5	12.8	24.9	8.1	6.5	14.5	24.9	8.1

* Estas dosificaciones están dadas en función del número de botes de tipo alcoholero, sin deformaciones (18 litros) que se requieren para producir un m³ de concreto.
Fuente: Adaptado de Kosmatka, Panarese, 1992.

ANEXO E

PROCEDIMIENTOS PARA SUPERVISAR LA CONSTRUCCIÓN

A continuación se proponen algunos formatos que muestran los procedimientos para mantener el control y la calidad requerida en el proceso constructivo de una planta de tratamiento de agua residual.

Facultad de Ingeniería	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ingeniería Coordinación de Bioprocesos Ambientales	Fecha de entrega del reporte : _____ Hoja 1 de 2 Revisión No. : ____
PROCEDIMIENTO PARA LA PLANEACIÓN DE UNA ETAPA DE COLADO		

Nombre del Cliente :	Nombre de la Planta de Tratamiento :	No. de proyecto :

Estructura, y / o etapa de colado :	Identificación :

Fecha del colado :	Hora de inicio del colado :	Hora de terminación :	Volumen de concreto por colar, [m ³]

Disciplinas que intervienen en el colado :	Responsables de las disciplinas :

Encargado de la requisición del concreto :	Empresa que suministra el concreto premezclado :	Nombre del contratista del concreto, fecha y hora de confirmación :

Fuente alternativa de suministro de concreto :	No. de frentes de colado :	Nivel del colado :
		Superior : [m] Inferior : [m]

I. ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO				
No.	Característica	Valor / Tipo	Referencia	Observaciones
1	Resistencia del concreto solicitada	[kg/cm ²]	4.3	
2	Relación agua - cemento		4.3	
3	Tipo de cemento (I, II, III, V, IP, etc.)		4.1.1	
4	Revenimiento	[cm]	4.3	
5	Tamaño máximo del agregado	[in - mm]	4.1.5	
6	Contenido de aire	[%]	4.3	
7	Aditivos		4.1.3	

Realizó	Realizó	Verificó
_____	_____	_____
Jefe de Ingeniería Nombre y firma	Jefe de Obra Civil Nombre y firma	Vo. Bo. Supervisión Nombre y firma
Fecha :	Fecha :	Fecha :

Facultad de Ingeniería	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ingeniería Coordinación de Bioprocesos Ambientales	Fecha de entrega del reporte : _____ Hoja 2 de 2 Revisión No. : _____
PROCEDIMIENTO PARA LA PLANEACIÓN DE UNA ETAPA DE COLADO		

Nombre del Cliente :	Nombre de la Planta de Tratamiento :	No. de proyecto :

Estructura, y / o etapa de colado :	Identificación :

Fecha del colado :	Hora de inicio del colado :	Hora de terminación :	Volumen de concreto por colar, [m ³]

II. MANO DE OBRA							
No.	Categoría	Cantidad	Observación	No.	Categoría	Cantidad	Observación
1	Sobrestante.			7	Albañiles		
2	Cabo de colocación.			8	Maniobristas		
3	Vibradoristas			9	Carpintero		
4	Ayudante de vibradorista			10	Operador de grúa		
5	Cabo de acabados			11	Operador de bomba		
6	Vigilantes de cimbra			12	Otros (Especifique)		

III. EQUIPO						
No.	Nombre	Equipo principal		Equipo de apoyo		Observación
		Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad	
1	Equipo de colocación (bomba, grúa, etc.)					
2	Vibradores					
3	Instalación de iluminación					
4	Equipo de protección por cambio climático					
5	Equipo necesario para climas extremos					
6	Otros (Especifique)					

Descripción de la secuencia de colado* : _____ _____ _____
--

* Anexar plano que muestre secuencia de colado y localización de juntas.

Realizó _____ Jefe de Ingeniería Nombre y firma Fecha : _____	Realizó _____ Jefe de Obra Civil Nombre y firma Fecha : _____	Verificó _____ Vo. Bo. Supervisión Nombre y firma Fecha : _____
---	---	---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ingeniería Coordinación de Bioprocesos Ambientales	Fecha de entrega del reporte : _____
	Hoja 1 de 1 Revisión No. : _____
PROCEDIMIENTO DE SUPERVISIÓN PREVIO A UNA ETAPA DE COLADO	
Facultad de Ingeniería	

Nombre del Cliente :	Nombre de la Planta de Tratamiento :	No. de proyecto :

Estructura, y / o etapa de colado :	Identificación :

Fecha del colado :	Hora de inicio del colado :	Hora de terminación :	Volumen de concreto por colar, [m ³]

I. SUPERVISIÓN DE CIMBRA Y ARMADO					
No	Actividad	Criterio de aceptación	Referencia	Resultado	Observación
1	Trazo y nivelación de desplante	Cumpla con los planos de construcción	Tabla 5.3	A R Na	
2	Geometría de la cimbra	Cumpla con: localización, dimensiones, posición, plomeo, nivel, contraflecha, deflexión y chaflanes.	5.2.2 y 5.2.4 Tabla 5.3	A R Na	
3	Posición y nivel de soportes de cimbra	Puntales, polines, cuñas, contravientos, troqueles y separadores con dimensión y posición adecuada	5.2	A R Na	
4	Cantidad y localización de acero de refuerzo :	Posición, nivelación, diámetro, separación y forma de varillas de refuerzo.	Planos de construcción	A R Na	
5	Localización de: elementos ahogados, huecos, pasos, tuberías e instalaciones.	Verificar que la posición y nivel cumplan con los planos de construcción.	5.2.4	A R Na	
6	Localización de ventanas en cimbras	Posición y colocación de aberturas temporales.	5.4.1	A R Na	
7	Estanqueidad de la cimbra	Detección de fugas a contraluz o prueba de agua.	5.2.4	A R Na	
8	Estado de la cimbra de contacto	La cimbra de contacto dé el acabado requerido, esté limpia y cubierta con agente desmoldante	5.2.4	A R Na	
9	Localización y preparación de juntas	Limpieza, preparación y posición según planos.	5.6	A R Na	

Nota : A : Aprobado R : Rechazado Na : No aplica

II. SUPERVISIÓN DE EQUIPO					
No	Equipo	Criterio de aceptación	Referencia	Resultado	Observación
1	De dosificación y mezclado (revolvedora)	En buen estado y de acuerdo al tipo de colado.	5.3.1 y 5.3.2	A R Na	
2	Para colocar concreto	Equipo en buen estado, que suministre concreto en forma continua a velocidad adecuada.	5.4 Tabla 5.6	A R Na	
3	Para consolidación de concreto	Vibrador de acuerdo a condiciones de colado, buen estado y con frecuencia dentro de los rangos	5.5.1	A R Na	
4	Auxiliar para el colado	Brinda buena iluminación o proteger al concreto de temperaturas extremas y cambios climáticos.	5.4.1, 5.4.2 y 5.4.3	A R Na	

Nota : A : Aprobado R : Rechazado Na : No aplica

Observaciones generales : _____

Realizó	Realizó	Verificó
_____	_____	_____
Jefe de Topografía Nombre y firma	Jefe de Obra Civil Nombre y firma	Vo. Bo. Supervisión Nombre y firma
Fecha :	Fecha :	Fecha :

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ingeniería Coordinación de Bioprocesos Ambientales	Fecha de entrega del reporte : _____ Hoja 1 de 2 Revisión No. : _____
PROCEDIMIENTO PARA LA SUPERVISIÓN DE DE UNA ETAPA DE COLADO		
Facultad de Ingeniería		

Nombre del Cliente :	Nombre de la Planta de Tratamiento :	No. de proyecto :

Estructura, y/o etapa de colado :	Identificación :

Fecha del colado :	Hora de inicio del colado :	Hora de terminación :	Volumen de concreto por colar, [m ³]

I. MUESTREO Y PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO								
No	Actividad	Criterio de aceptación	Referencia	No. muestra	Identif.	Estructura que representa	Valor	Resultado
1	Muestreo para prueba de resistencia.	De acuerdo a las normas: ASTM C-172 o NOM C-161.	4.4	1			kg/cm ²	A R Na
				2			kg/cm ²	A R Na
				3			kg/cm ²	A R Na
				4			kg/cm ²	A R Na
				5			kg/cm ²	A R Na
				6			kg/cm ²	A R Na
2	Prueba de revenimiento.	Conforme a ASTM C-143 o NOM C-156. Revenimiento Tolerancia Hasta 5 cm ± 1.5 cm De 5 a 10 cm ± 2.5 cm Más de 10 cm ± 3.5 cm	5.3.3 Tabla 5.5	1			cm	A R Na
				2			cm	A R Na
				3			cm	A R Na
				4			cm	A R Na
				5			cm	A R Na
				6			cm	A R Na

Nota : A: Aprobado R: Rechazado Na: No aplica

II. CARACTERÍSTICA A INSPECCIONAR EN EL COLADO DEL CONCRETO					
No	Actividad	Criterio de aceptación	Referencia	Resultado	Observación
1	Localización y separación de caídas de concreto.	A cada 3 m. horizontales como máximo	5.4.1	A R Na	
2	Altura de caída libre del concreto.	De 1.2 m como máximo.	5.4.1	A R Na	
3	Colocación del concreto.	En capas horizontales de 30 a 60 cm con velocidad adecuada para cumplir programa de colado y eliminar juntas.	5.2.4 y 5.4.2	A R Na	
4	Observar comportamiento de la cimbra y reajustar puntales conforme avanza el colado.	La cimbra mantenga el nivel, plomo y contraflecha de acuerdo a las tolerancias	5.2.4 Tabla 5.3	A R Na	
5	Vibración interna del concreto.	Inserción vertical con separación de 1.5 veces el radio de acción del vibrador. Tiempo de inmersión 5 a 15 segundos.	5.5.1	A R Na	
6	Vibración externa del concreto.	Colocar los vibradores de forma que den vibrado uniforme durante 1 o 2 min	5.5.1	A R Na	

Nota : A: Aprobado R: Rechazado Na: No aplica

Realizó _____ Jefe de Obra Civil Nombre y firma	Verificó _____ Vo. Bo. Supervisión Nombre y firma
Fecha :	Fecha :

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ingeniería Coordinación de Bioprocesos Ambientales	PROCEDIMIENTO PARA LA SUPERVISIÓN DE DE UNA ETAPA DE COLADO	Fecha de entrega del reporte : _____ Hoja 2 de 2 Revisión No. : _____
Facultad de Ingeniería		

Nombre del Cliente :	Nombre de la Planta de Tratamiento :	No. de proyecto :

Estructura, y/o etapa de colado :	Identificación :

Fecha del colado :	Hora de inicio del colado :	Hora de terminación :	Volumen de concreto por colar, [m ³]

II. CARACTERÍSTICA A INSPECCIONAR EN EL COLADO DEL CONCRETO						
No	Actividad	Criterio de aceptación	Referencia	Resultado		Observación
7	Descimbrado de elementos horizontales.	Retirar cimbra cuando el concreto alcance 70% de f'c o según Tabla 5.4.	5.2.3 Tabla 5.4	A	R	Na
8	Descimbrado de elementos verticales.	Quitar cimbra después 12 hrs de curado	5.2.3	A	R	Na
9	Reparación de defectos por descimbrado.	Retirar concreto dañado, limpiar superficie y humedecer por 2 hrs antes de rellenar con mortero. Después curar.	5.7.1	A	R	Na
10	Acabado de la superficie del concreto.	Especificado en plano arquitectónico o, en su defecto, en la Tabla 5.9.	5.2.4 y 5.7.1	A	R	Na
11	Curado del concreto.	Tiempo de curado inicial: 24 horas Tiempo de curado final: 7 días	5.8	A	R	Na

Método de curado :	Fecha de inicio de curado:	Fecha de descimbrado:

III. INSPECCIÓN DEL CURADO DEL CONCRETO										
No	Fecha	Hora	Tamb, °C	Tconcreto, °C	Realizó	Resultado			Supervisó	Observación
1						A	R	Na		
2						A	R	Na		
3						A	R	Na		
4						A	R	Na		
5										
6						A	R	Na		
7						A	R	Na		

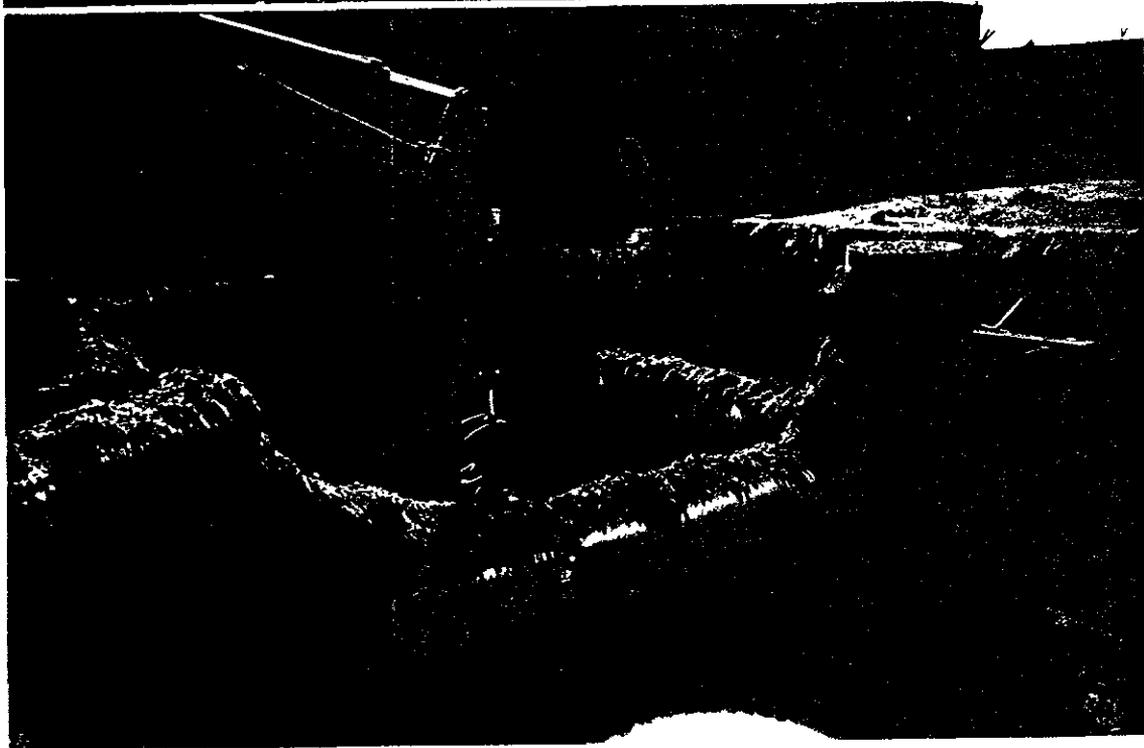
Nota : A: Aprobado R: Rechazado Na: No aplica Tamb: Temperatura ambiente Tconcreto: Temperatura concreto

Observaciones generales : _____ _____ _____

Realizó _____ Jefe de Obra Civil Nombre y firma	Verificó _____ Vo. Bo. Supervisión Nombre y firma
Fecha :	Fecha :

ANEXO F

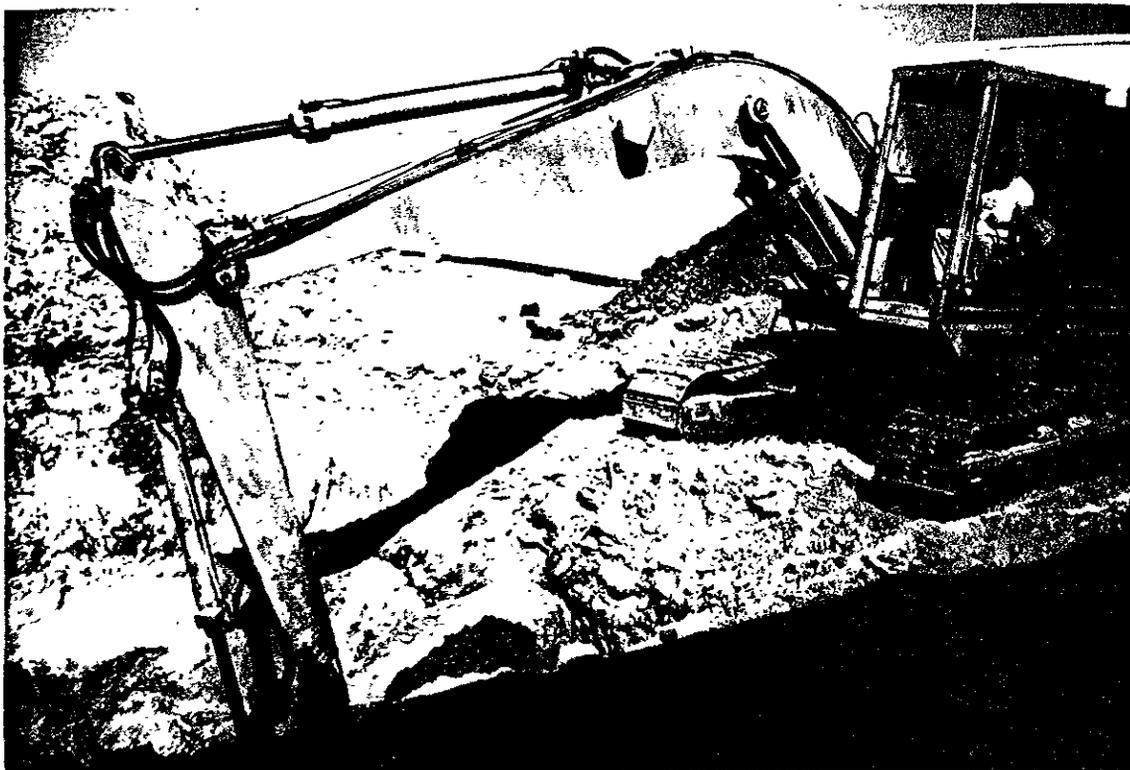
ANEXO FOTOGRÁFICO PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	TRABAJOS PRELIMINARES :	TRAZO Y NIVELACIÓN DEL TERRENO. REUBICACIÓN DE TUBERÍA DE DRENAJE.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.	
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.	

ANEXO FOTOGRÁFICO

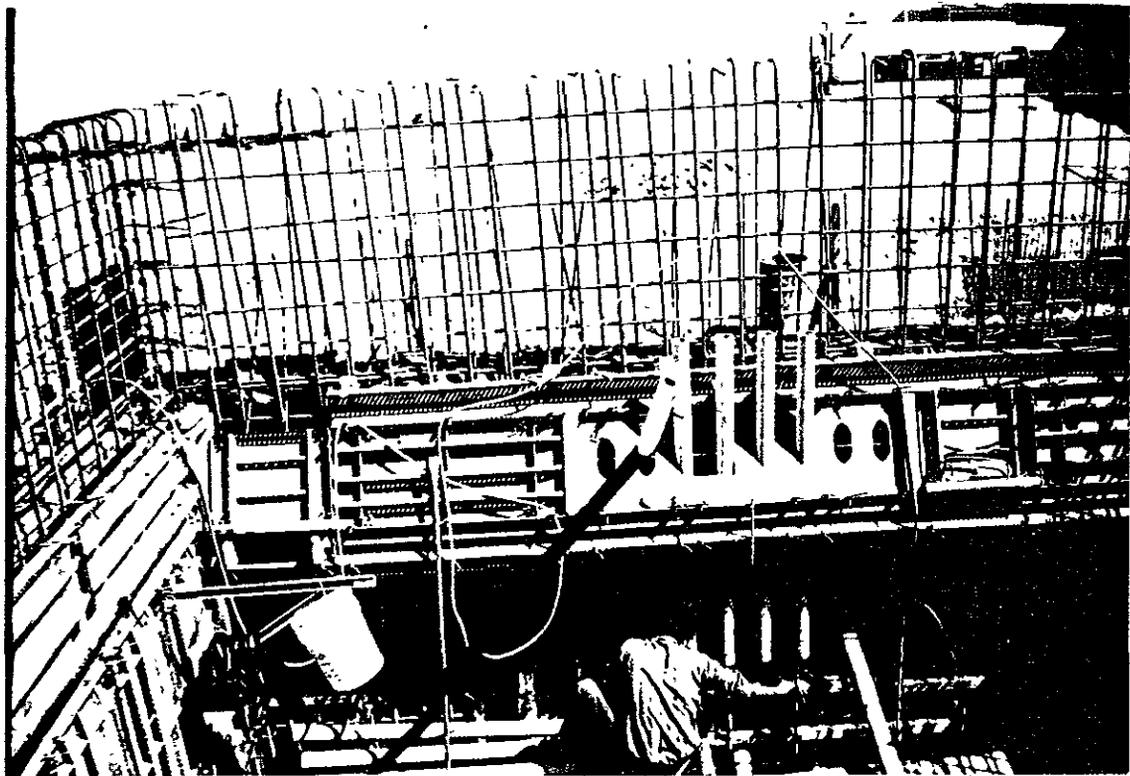
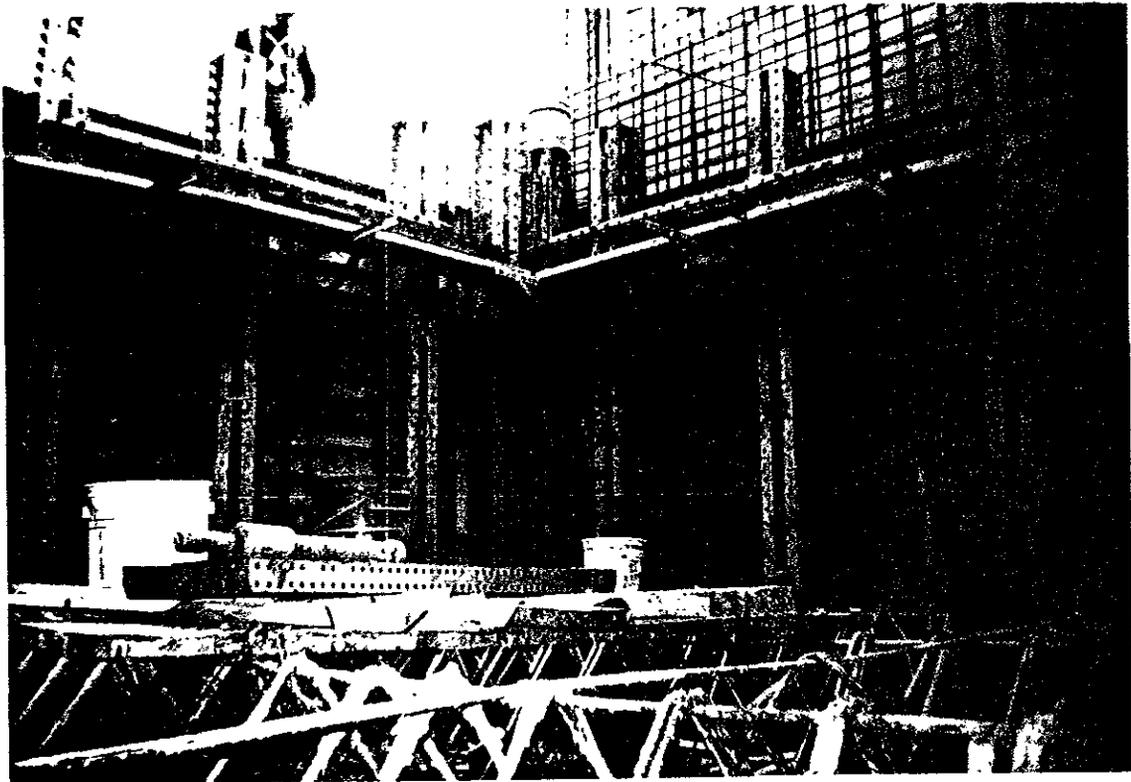
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	EXCAVACION CON MAQUINARIA Y ACARREO DEL MATERIAL AL SITIO INDICADO.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.

ANEXO FOTOGRÁFICO

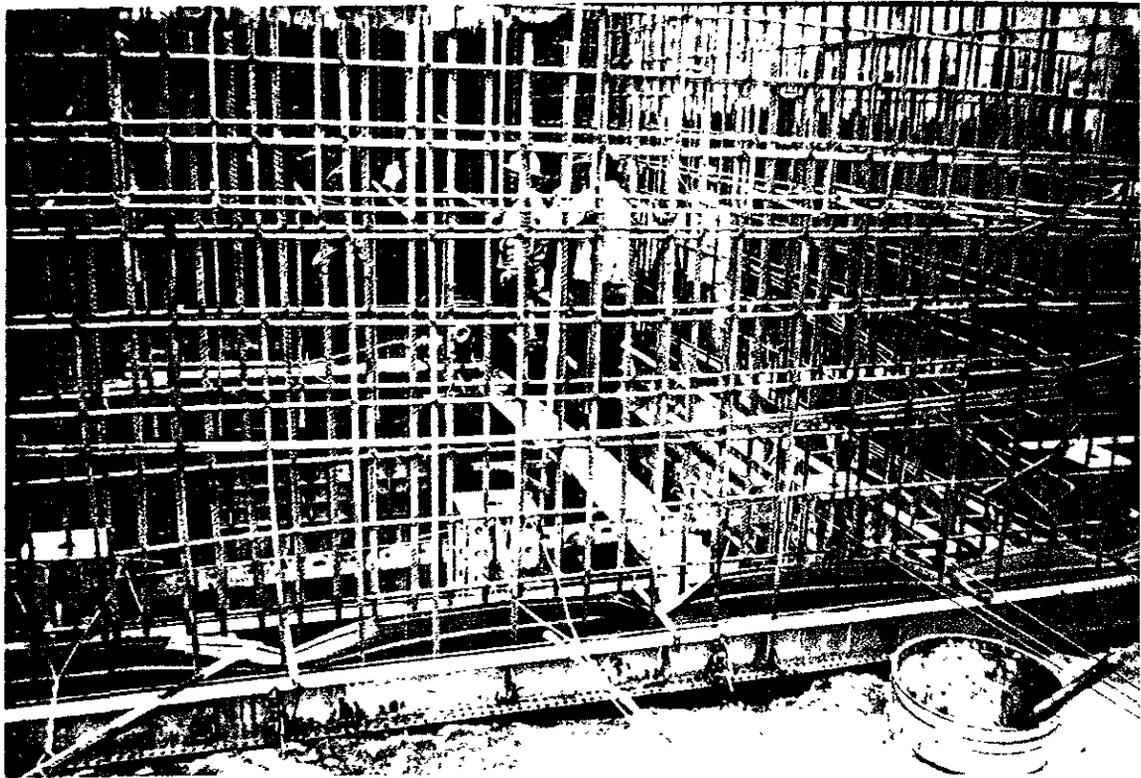
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	COLOCACIÓN DE CIMBRA METÁLICA Y DE ELEMENTOS AHOGADOS EN EL CONCRETO.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.

ANEXO FOTOGRÁFICO

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	HABILITADO DEL ACERO DE REFUERZO. COLOCACIÓN DE BANDA OJILLADA Y DEL REFUERZO ESTRUCTURAL.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ

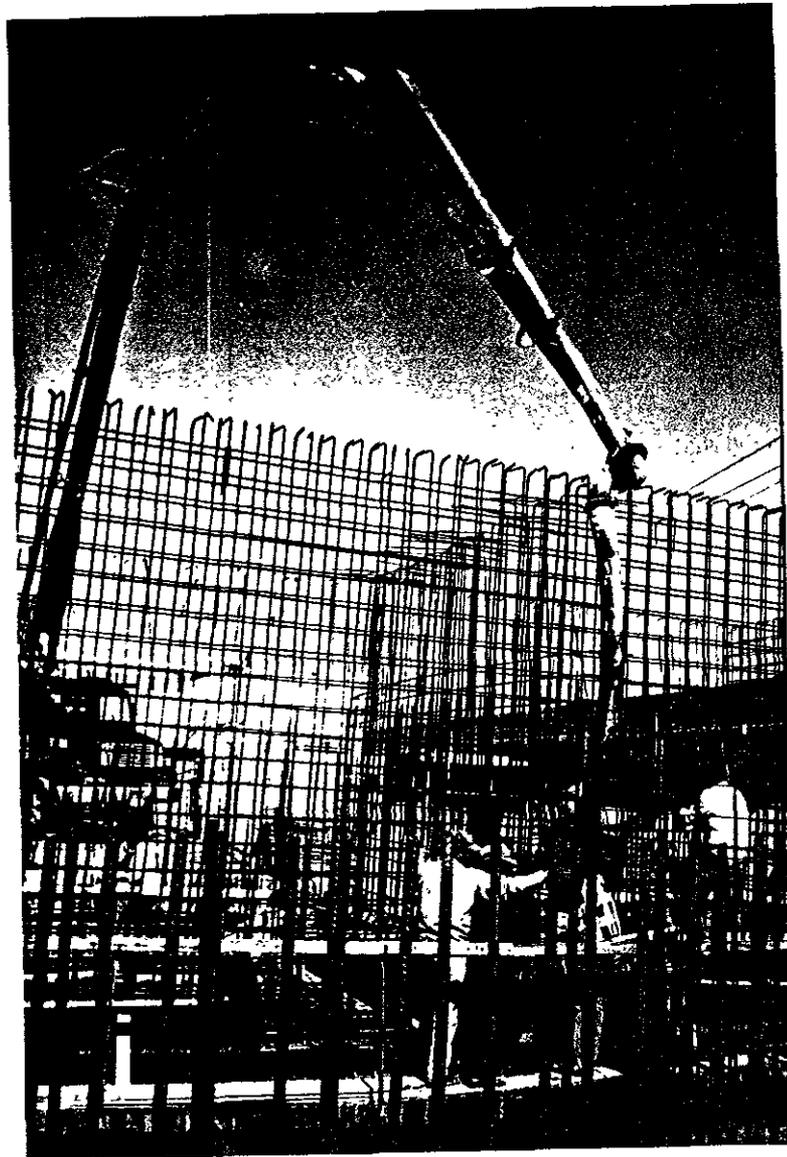
ANEXO FOTOGRÁFICO

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



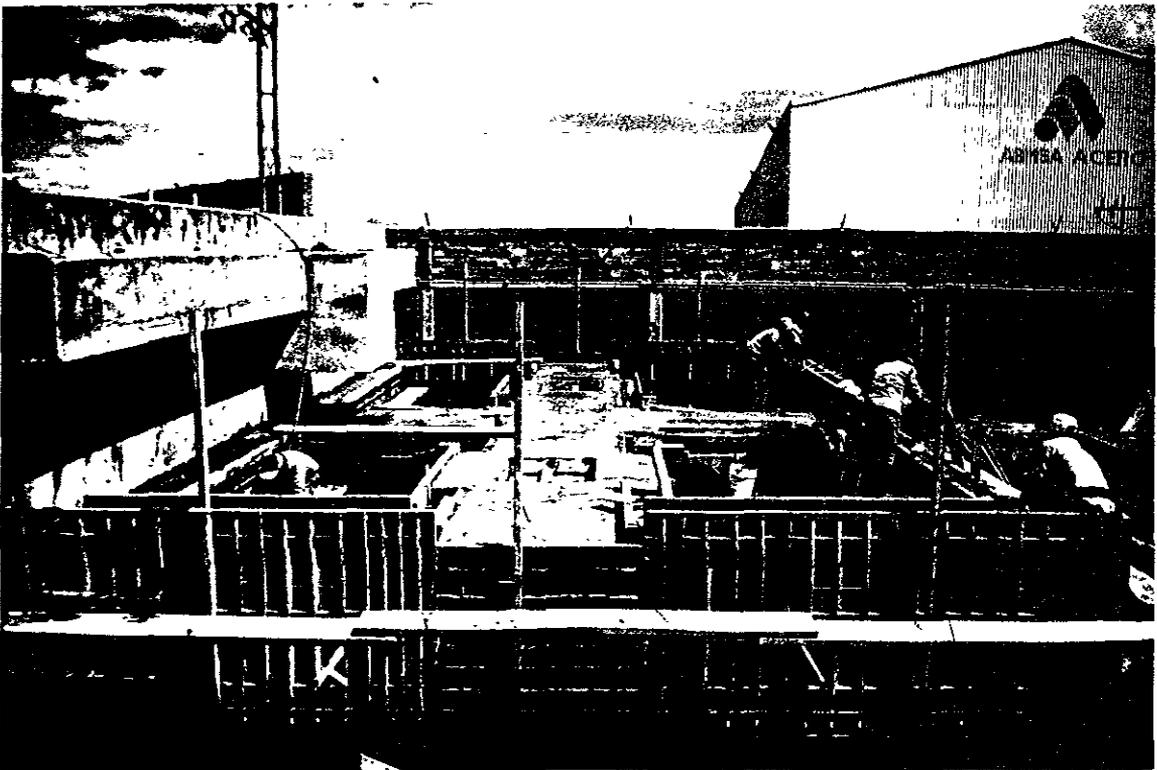
DESCRIPCIÓN:	PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA PRUEBAS DE RESISTENCIA Y COLOCACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.

ANEXO FOTOGRÁFICO PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	COLOCACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.

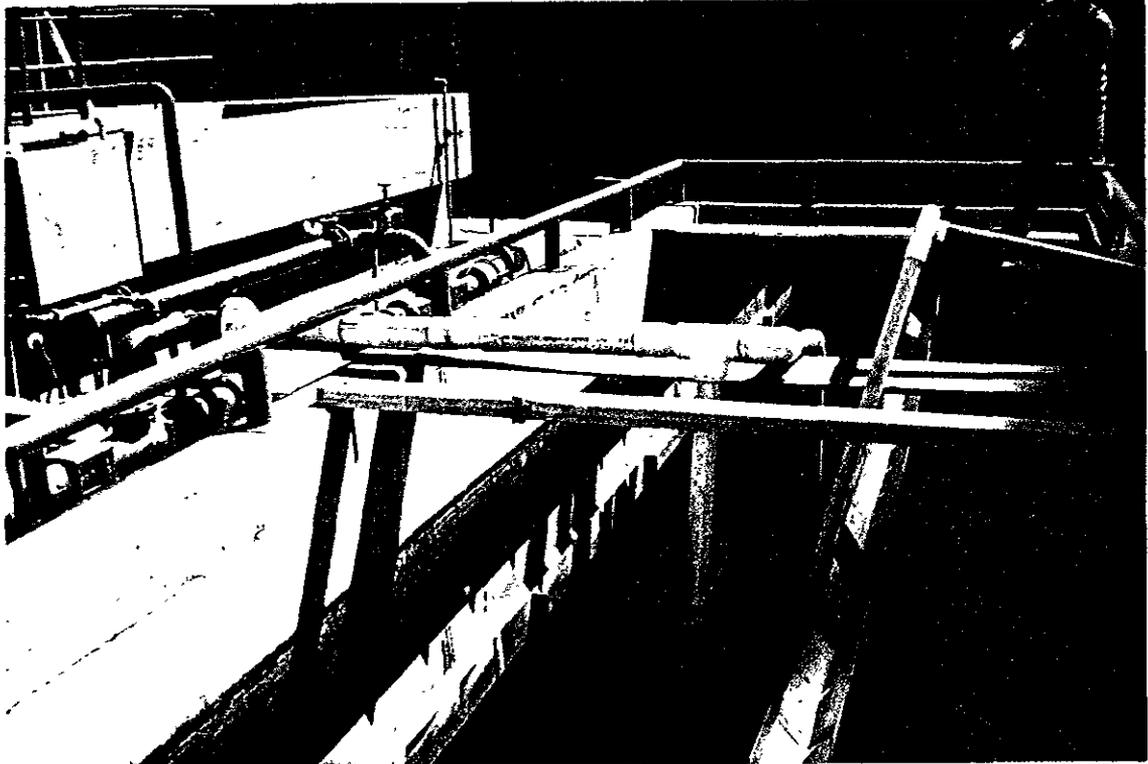
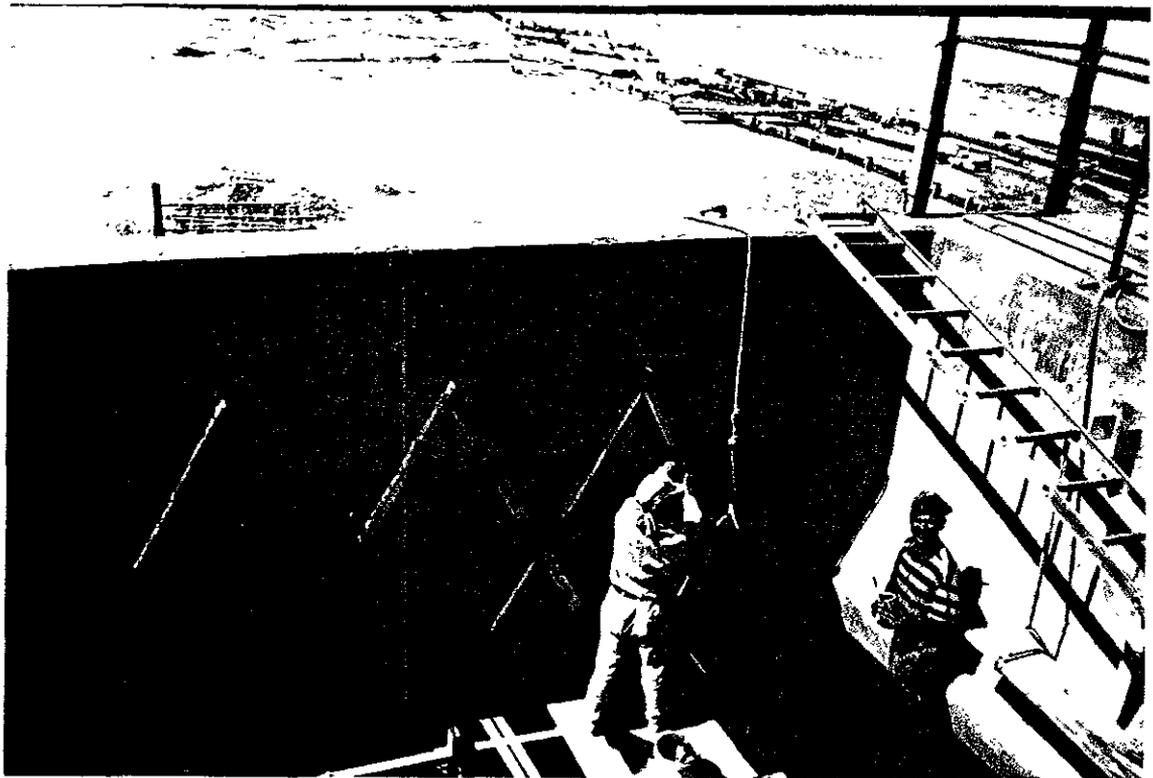
ANEXO FOTOGRÁFICO PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	COMPACTACIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE VIBRACIÓN INTERNA. RETIRO DE LA CIMBRA.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y AEROBIOS.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.

ANEXO FOTOGRÁFICO

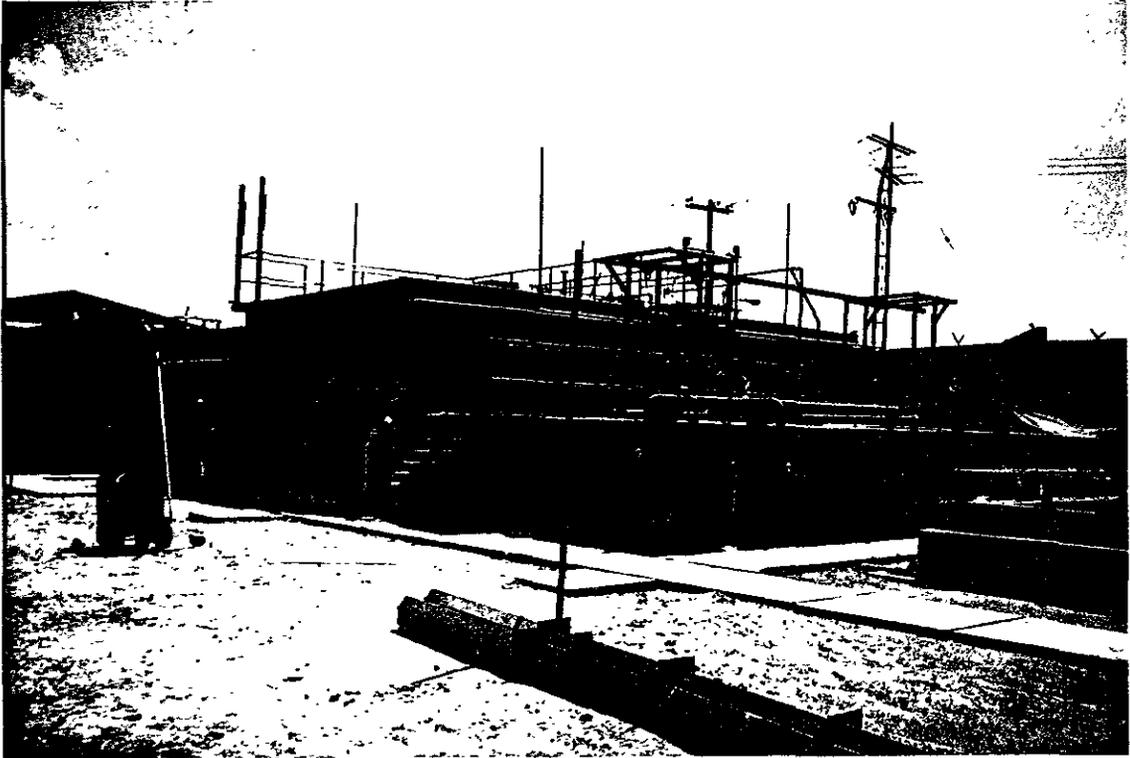
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	COLOCACIÓN DE CAMPANAS COLECTORAS DE BIOGAS DE LOS REACTORES UASB. PRUEBA DE FUGAS DEL TANQUE DE CONTACTO CON CLORO.
LOCALIZACIÓN:	TANQUES ANAEROBIOS Y TANQUE DE CONTACTO CON CLORO.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.

ANEXO FOTOGRÁFICO

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



DESCRIPCIÓN:	VISTA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO Y DE LA CASETA DE CONTROL DE OPERACIONES.
LOCALIZACIÓN:	CORREDOR INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ.
OBRA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RICOLINO, SAN LUIS POTOSÍ.