

107



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

*Estudios preliminares para la localización de
planta de tratamiento de aguas residuales en la
zona de los GEOS en Ciudad Universitaria*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JORGE VILLA OROZCO

**FACULTAD DE
INGENIERIA**



U N A M

2000

1079736



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE INGENIERIA
 DIRECCION
 FING/DCTG/SEAC/UTIT/063/98

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

Señor
JORGE VILLA OROZCO
 Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. LUIS ARMANDO DIAZ INFANTE**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"ESTUDIOS PRELIMINARES PARA LA LOCALIZACION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA DE LOS GEOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA"

RESUMEN

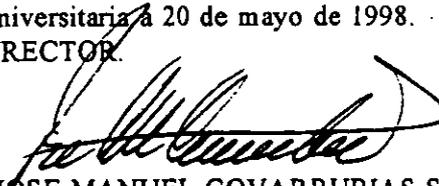
INTRODUCCION

- I. MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA**
- II. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**
- III. PROYECTO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO**
- IV. ANALISIS TECNICO ECONOMICO PARA LA LOCALIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- V. PROCESO CONSTRUCTIVO RECOMENDADO**
- VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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 20 de mayo de 1998.
 EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
 JMCS/GMP*lmf

V. Bo


A Valentina:
Tu sonrisa ha facilitado mi caminar,
llegaste en el momento preciso.

A Elba:
Por tu carácter y tu incansable espíritu,
fuiste parte importante de este trabajo.

A Lourdes y Javier:
Siempre han sido buen ejemplo de comprensión
y un apoyo muy importante para mí.

A Marianuhska y Alejandro.
A mis amigos y familiares.

A mis profesores.

AGRADECIMIENTOS:

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, que aún es la mejor escuela de ingeniería del país.

A la coordinación de bioprocesos ambientales del instituto de ingeniería por su apoyo tanto económico como académico para la realización de los primeros capítulos de este trabajo, en especial al Dr. Adalberto Noyola Robles y al M.I. Santiago Ortega Charleston.

Al Ing. Luis Armando Díaz Infante por haber aceptado dirigir este trabajo y por su ejemplo como profesional y congruencia moral.

CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
CONTENIDO.	1
ÍNDICE DE CUADROS.	3
ÍNDICE DE FIGURAS.	5
RESUMEN.	7
INTRODUCCIÓN.	8
1. MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA.	11
1.1 Características físicas y geográficas de Ciudad Universitaria.	12
1.2 Infraestructura para el desalojo de aguas residuales y drenaje de Ciudad Universitaria.	13
1.2.1 Crecimiento de la población universitaria.	13
1.2.2 Sistemas de alcantarillado y tratamiento de agua.	14
1.2.3 Problemática actual en la zona de los GEOS.	16
1.3 Problemas sanitarios y ambientales provocados por las aguas residuales en los acuíferos subterráneos.	17
1.3.1 Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación.	17
1.3.2 Contaminación regional en la zona del pedregal.	19
1.3.3 Precauciones de la recarga artificial.	20
1.4 Normatividad y legislación.	22
2. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	25
2.1 Características de las aguas residuales municipales y necesidad de saneamiento.	26
2.2 Sistema de alcantarillado.	32
2.2.1 Tipos de redes de alcantarillado.	32
2.2.2 Proyecto de las alcantarillas sanitarias.	34
2.3 Tratamiento de las aguas residuales.	37
2.3.1 Operaciones unitarias y niveles de tratamiento.	38
2.3.2 Recomendaciones para la selección de un sistema de tratamiento.	39
2.3.3 Tratamiento preliminar.	41
2.3.4 Tratamiento primario.	42
2.3.5 Tratamiento secundario.	43
2.3.6 Desinfección.	45
2.3.7 Tratamiento de lodos.	46
2.3.8 Tratamiento terciario.	47
3. PROYECTO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.	50
3.1 Descripción del Proyecto.	51
3.2 Efectos de la entrada en vigor del Proyecto.	51
3.3 Datos Generales del Proyecto.	52
3.3.1 Disposición final.	52
3.3.2 Tipo de proceso.	52
3.3.3 Acciones realizadas.	53
3.4 Alcances de la planta de tratamiento de aguas residuales de la zona de los GEOS.	55

	<i>Pág.</i>
4. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	59
4.1 Consideraciones fundamentales.	60
4.1.1 Características geotécnicas.	60
4.1.2 Factores considerados para la selección del predio.	62
4.2 Caudales a tratar.	63
4.2.1 Estimación de caudales para el proyecto.	64
4.3 Estudios topográficos.	68
4.4 Alternativas.	72
4.4.1 Descripción de las alternativas.	72
4.4.2 Análisis económico.	82
5. PROCESO CONSTRUCTIVO RECOMENDADO.	94
5.1 Subestructura.	96
5.1.1 Trazo y nivelación.	97
5.1.2 Excavación.	99
5.1.3 Acarreos y fletes.	103
5.1.4 Plantillas.	104
5.1.5 Cimentación.	106
5.2 Superestructura	109
5.2.1 Acero de refuerzo.	109
5.2.2 Cimbra.	111
5.2.3 Concreto hidráulico.	113
5.2.4 Muros.	116
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	120
ANEXOS.	
Anexo 1 NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE MANEJO, DISPOSICIÓN Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES.	125
Anexo 2 RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.	133

ÍNDICE DE CUADROS.

Pág.

RESUMEN.

INTRODUCCIÓN.

1. MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA.	
1.1 Condiciones climáticas en Ciudad Universitaria.	12
1.2 Longitud de la red actual de alcantarillado según forma y origen de la descarga en la zona de los GEOS.	17
1.3 Tipo y número de instalaciones para la disposición de agua residual en la zona de los GEOS.	17
1.4 Características del acuífero de Ciudad Universitaria.	19
1.5 Métodos para la recarga artificial de acuíferos.	21
1.6 Recomendaciones de calidad para el agua de recarga.	22
1.7 Límites máximos permisibles para el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales	23
2. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	
2.1 Principales características físicas de las aguas residuales.	27
2.2 Principales características químicas de las aguas residuales: Medición del contenido orgánico.	29
2.3 Principales características químicas de las aguas residuales: Materia inorgánica.	29
2.4 Principales características químicas de las aguas residuales: Gases presentes.	29
2.5 Principales características químicas de las aguas residuales: Materia orgánica.	30
2.6 Principales grupos de microorganismos presentes en las aguas residuales.	31
2.7 Composición típica del agua residual doméstica.	31
2.8 Clasificación de las redes de alcantarillado.	32
2.9 Tipos de alcantarillas en una red típica de alcantarillado.	33
2.10 Características de las tuberías utilizadas comercialmente en las redes de alcantarillado.	36
2.11 Velocidades para el flujo del agua residual en sistemas de alcantarillado permitidas en México.	36
2.12 Niveles de tratamiento del agua residual y operaciones involucradas.	39
2.13 Operaciones, procesos y sistemas de tratamiento utilizados para la remoción de los principales contaminantes presentes en el agua residual municipal.	39
2.14 Dispositivos empleados en el tratamiento preliminar de las aguas residuales.	41
2.15 Principales procesos de tratamiento biológico secundario.	44
2.16 Características de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales según su origen.	46
2.17 Métodos para la estabilización y manejo de los lodos.	47
2.18 Métodos para el tratamiento terciario de las aguas residuales.	48
3. PROYECTO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.	
3.1 Características de las fosas sépticas con postratamiento construidas en el Campus.	53
3.2 Características de la planta de tratamiento de la Zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.	53
3.3 Características de los reactores anaerobios proyectados para el tratamiento de las aguas residuales de edificios con descargas entre 40 y 70 m ³ /d.	54
3.4 Características de los sistemas de tratamiento biológico proyectados para la depuración de las aguas residuales de edificios con descargas entre 10 y 20 m ³ /d.	55

4. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	
4.1 Recomendaciones para reducir el riesgo de fallas estructurales en tanques y estructuras de tratamiento.	61
4.2 Características del suelo de Ciudad Universitaria.	62
4.3 Consumos per cápita promedio de 6 dependencias de Ciudad Universitaria.	65
4.4 Aportaciones medias per cápita.	65
4.5 Cálculo de las aportaciones medias diarias de agua residual de las dependencias de la zona de los GEOS según el tipo de usuario.	66
4.6 Aportaciones por período y por día.	67
4.7 Características de los cárcamos de bombeo (alternativa 1).	74
4.8 Características de los cárcamos de bombeo (alternativa 2).	77
4.9 Características de los cárcamos de bombeo (alternativa 3).	80
4.10 Costos de implantación de la conducción por gravedad (alternativa 1).	82
4.11 Costos de implantación de la tubería de polietileno de alta densidad (alternativa 1).	83
4.12 Costo de construcción de los cárcamos de bombeo (alternativa 1).	83
4.13 Costo de adquisición del equipo de bombeo (alternativa 1).	83
4.14 Dimensiones de las estructuras del sistema de almacenamiento.	84
4.15 Costos de implantación del sistema de almacenamiento.	84
4.16 Costos de operación y mantenimiento (alternativa 1).	85
4.17 Costos de implantación de la conducción por gravedad (alternativa 2).	86
4.18 Costos de implantación de la tubería de polietileno de alta densidad (alternativa 2).	87
4.19 Costo de construcción de los cárcamos de bombeo (alternativa 2).	87
4.20 Costo de adquisición del equipo de bombeo (alternativa 2).	87
4.21 Costos de operación y mantenimiento (alternativa 2).	88
4.22 Costos de implantación de la conducción por gravedad (alternativa 3).	89
4.23 Costos de implantación de la tubería de polietileno de alta densidad (alternativa 3).	90
4.24 Costo de construcción de los cárcamos de bombeo (alternativa 3).	90
4.25 Costo de adquisición del equipo de bombeo (alternativa 3).	90
4.26 Costos de operación y mantenimiento (alternativa 3).	91
4.27 Costos de implantación y operación de las alternativas estudiadas.	91
5. PROCESO CONSTRUCTIVO RECOMENDADO.	
5.1 Etapas para la construcción de una estructura de tratamiento.	95
5.2 Equipo utilizado en la excavación en roca.	100
5.2 Análisis comparativo entre acero y concreto.	109
5.3 Tipos de acero de refuerzo comercial según su límite de fluencia.	109
5.4 Diámetros mínimos requeridos para el dobles de las varillas de acero.	110
5.5 Características de las cimbras utilizadas en diferentes elementos de una estructura.	112
5.6 Características y tipos de cemento utilizados para la construcción de estructuras.	113
5.7 Clasificación de los agregados pétreos.	114
5.8 Comparación entre los concretos clase I y clase II.	114
5.9 Recomendaciones para realizar pruebas que permitan verificar la calidad del concreto.	115
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	

ÍNDICE DE FIGURAS.

Pág.

RESUMEN.

INTRODUCCIÓN.

1	Balance hidrológico de la cuenca del Valle de México	9
2	Hundimiento paulatino del sistema de drenaje de la Ciudad de México.	10
1.	MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA.	
1.1	Localización regional de Ciudad Universitaria dentro de la Cuenca del Valle de México.	13
1.2	Situación actual del drenaje en Ciudad Universitaria.	15
1.3	Procesos de depuración de contaminantes en el subsuelo y los acuíferos.	18
2.	ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	
2.1	Composición típica del agua residual municipal.	26
2.2	Metodología para la evaluación de los sólidos presentes en el agua residual.	28
2.3	Representación esquemática de los diversos tipos de alcantarillas de una red de alcantarillado.	33
2.4	Clasificación de los procesos de tratamiento biológicos.	44
3.	PROYECTO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.	
3.1	Ubicación de las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales en el Campus Universitario.	56
3.2	Secuencia de actividades para la subcontratación del proyecto de la zona de los GEOS.	57
4.	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	
4.1	Falla de estructurales comunes en tanques y estructuras de tratamiento.	61
4.2	Distribución horaria del caudal en la zona de los GEOS.	67
4.3	Traslape longitudinal y lateral de las fotografías para una restitución.	69
4.4	Plano topográfico de la zona de los GEOS.	71
4.5	Alternativa No. 1.	75
4.6	Alternativa No. 2.	78
4.7	Alternativa No. 3	81
4.8	Diagrama esquemático del proceso de almacenamiento del agua residual.	84
5.	PROCESO CONSTRUCTIVO RECOMENDADO.	
5.1	Trazo del terreno para la planta de tratamiento para las aguas residuales de la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.	97
5.2	Procedimiento para la reposición del trazo.	98
5.3	Procedimiento para el traslado de nivel con manguera.	98
5.4	Excavación con cuña y marro.	102
5.5	Relleno de caverna con concreto ciclópeo.	102
5.6	Relleno con tepetate compactado al 90% próctor.	105
5.7	Colocación de la malla geotextil y la plantilla de concreto pobre para desplante de la subestructura.	105
5.8	Instalación de la malla geotextil.	106
5.9	Tipos de cimentaciones más usuales.	107

	<i>Pág.</i>
5. PROCESO CONSTRUCTIVO RECOMENDADO (CONTINUACIÓN).	
5.10 Armado de la estructura y de la losa de cimentación que se colarán monolíticamente.	108
5.11 Colocación de juntas de construcción.	108
5.12 Camión de concreto premezclado con brazo mecánico para colocación de concreto en lugares de difícil acceso.	118
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es explicar de manera general los trabajos realizados para definir el tipo de proyecto de saneamiento más conveniente para la zona de los GEOS y establecer algunas recomendaciones para la correcta ejecución de los trabajos de implantación de la alternativa seleccionada para que las descargas cumplan con la calidad establecida por las normas mexicanas.

Para cumplir el objetivo citado anteriormente, este trabajo se divide en 6 capítulos que se explican a continuación:

En el capítulo primero se describen de manera general la forma en la que se maneja el agua actualmente dentro de la Ciudad Universitaria y la problemática generada con el manejo actual haciendo énfasis en los problemas existentes en la zona de los GEOS, que es la zona con mayor producción de aguas residuales que no reciben tratamiento. Adicionalmente, se describen algunos de los problemas generados por la falta de disposición adecuada de los residuos líquidos de una comunidad y la legislación mexicana referente al manejo y disposición de este tipo de residuos.

En el segundo capítulo se describen las alternativas para el desalojo y tratamiento de las aguas residuales. En este sentido se explican los tipos de sistemas de drenaje más socorridos en la actualidad y algunas recomendaciones para el diseño de las instalaciones de desalojo. En lo que corresponde al tratamiento de las aguas residuales, se explican las formas que existen para la remoción de contaminantes y los niveles existentes para ello.

En el tercer capítulo se describen los alcances del proyecto de saneamiento de la zona de los GEOS, dentro del proyecto de saneamiento que se lleva a cabo dentro de la UNAM.

En el capítulo cuarto se plantean y analizan técnica y económicamente tres alternativas para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto de saneamiento de la zona de los GEOS, y se recomienda la selección de la alternativa que cumpla con las necesidades planteadas al menor costo posible tanto de implantación como de operación.

En el capítulo cinco se hacen algunas recomendaciones para la construcción de la instalación de tratamiento.

En el sexto y último capítulo se hacen las conclusiones del trabajo.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural muy importante por que es indispensable para el desarrollo de la vida. El 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, sin embargo el 98% de ella es salada; además la mayor parte del agua dulce se encuentra en los casquetes polares y acuíferos subterráneos y sólo el 0.014% se encuentra en ríos y lagos, por lo que el abastecimiento del agua para consumo humano tiene costos cada vez más elevados.

En México, el aprovechamiento de los recursos naturales está fuertemente condicionado por factores políticos y socioeconómicos, lo que ha provocado 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 contaminación de las fuentes de abastecimiento subterráneas. Algunas de las causas que han generado esta situación son:

- La distribución de manera inversa en el país de las actividades productivas y los principales centros de población en relación con la disponibilidad de agua superficial y de lluvias, que ha provocado una desmedida explotación de las fuentes subterráneas de abastecimiento cuyo volumen de recarga es menor al de extracción, lo que ocasiona hundimientos de los estratos superficiales del suelo y un impacto negativo en las condiciones naturales del acuífero.
- El crecimiento desmedido de la población que se ha asentado de manera irregular en los núcleos urbanos, que ha ocasionado un rezago en los servicios y una inadecuada disposición de las aguas residuales que en muchos casos son conducidas en canales a cielo abierto y vertidas a el subsuelo o a fuentes superficiales. Esto provoca condiciones de insalubridad de la población debido a el contenido de organismos patógenos en las aguas residuales que causan la proliferación de enfermedades y la generación de focos de contaminación de las posibles fuentes de abastecimiento para otras poblaciones o para sí misma en el caso de infiltración hacia los acuíferos.
- Las prácticas de vertido de contaminantes y desechos de todo tipo hacia el drenaje, que dificultan la conducción de las aguas residuales y encarecen el tratamiento de las mismas.

Consecuentemente, el tratamiento de las aguas residuales y la normalización de las descargas de aguas residuales han recibido un fuerte impulso en los últimos años como estrategia para preservar la calidad del agua, mejorar la calidad de vida, proteger la salud pública y garantizar el desarrollo sustentable del país. Las inversiones en instalaciones de tratamiento han sido muy grandes tanto por parte del Estado como por parte de instituciones privadas y dependencias no gubernamentales.

Históricamente, la región del Valle de México, ha enfrentado problemas relacionados tanto con el abastecimiento como para el desalojo del agua. Las políticas de extracción de agua del subsuelo para el abastecimiento de la Ciudad que se comenzaron a incrementar de manera acelerada en las últimas décadas han provocado un grave déficit en el balance hidrológico de la Cuenca del Valle de México (*figura 1*), para remediar esta situación es necesario emprender acciones ambiciosas para el manejo y uso eficiente del agua. En este sentido el Gobierno de la Ciudad de México ha emprendido acciones tendientes a reducir el consumo de agua potable. Entre ellas el tratamiento del agua residual para producir efluentes con calidad suficiente para su reuso en riego, industria, servicios y recarga de acuíferos (Hernández, Guash y Saunders y Cortez, 1998).

Origen del agua consumida en el Valle de México.

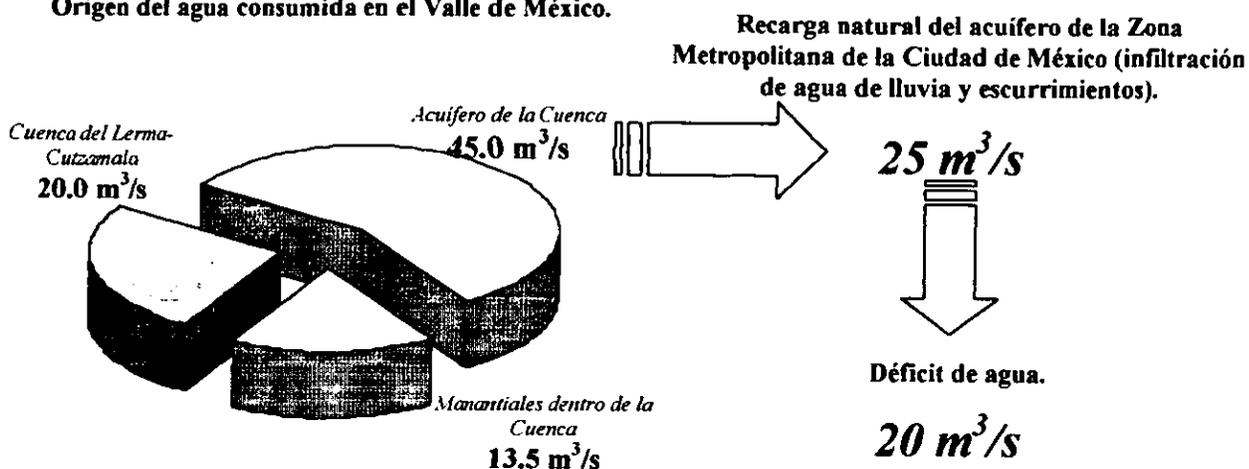


Figura 1 Balance hidrológico de la Cuenca del Valle de México.

Fuente de datos: Hernández Guash y Saunders y Cortez, 1998

Cabe señalar que debido a la insuficiente recarga natural de agua en la Cuenca y a la explotación sin cuidado del acuífero, se han ocasionado problemas de hundimiento principalmente en la llamada zona de lago de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (figura 2), además de otros problemas relacionados con la salud humana, deterioro en la calidad del agua subterránea derivadas de las prácticas para el desalojo del agua residual que se genera en algunas zonas de la Ciudad y cambios en las características del acuífero.

Para contribuir minimizar estos problemas, la UNAM tiene como política disminuir el impacto en el medio ambiente que provoca su operación como son la generación de residuos (sólidos y líquidos) y consumo de recursos (energía eléctrica y agua), a través de una serie de programas que pretenden reducir el uso de los mismos, reutilizarlos una vez que hayan se adecuen para ello y disponer de manera adecuada los desechos generados, además de utilizar de manera más eficiente los recursos. En el caso del agua, define como su objetivo fundamental lograr el principio de descarga cero, el cual implica que toda el agua que se extrae del subsuelo del Campus Universitario sea devuelta por medio de infiltración después de utilizarla y tratarla, evitando que salga del Campus a través de los sistemas de drenaje de la Ciudad de México. Para el cumplimiento de este punto, se han proyectado y construido estructuras para el desalojo y saneamiento del agua residual en zonas bien definidas del Campus. Una de estas zonas es la llamada zona de los GEOS que representa la región de Ciudad Universitaria con mayor volumen de descargas sin tratamiento.

En el presente trabajo se explican los trabajos realizados para definir el tipo de proyecto de saneamiento más conveniente para la zona de los GEOS y establecer algunas recomendaciones para la ejecución de los trabajos de implantación de la alternativa de acuerdo a la experiencia recomendada en normas mexicanas e internacionales y a la práctica constructiva seguida en obras similares construidas dentro de Ciudad Universitaria.

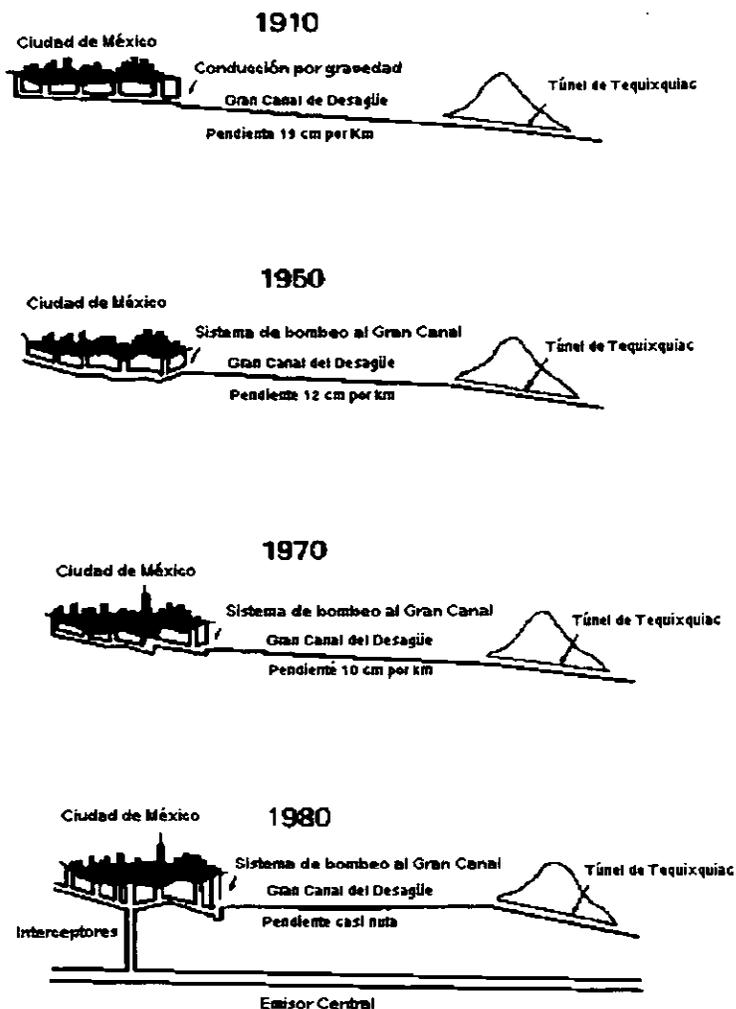


Figura 2 Hundimiento paulatino del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Fuente: DGCOH, 1997.

Referencias

1. Hernández López, Oscar; Guash y Saunders Juan Carlos y Cortez Pérez Miguel Angel. *Comentarios Sobre el Plan Maestro de Agua Potable 1995-2000*. Agua y Saneamiento, Vol. 1 No. 3. Pp. 11-18.
2. Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica (DGCOH). *Boletín informativo*. México, 1997.

Capítulo 1

**MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN
CIUDAD UNIVERSITARIA**

MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

1.1 Características físicas y geográficas de Ciudad Universitaria

Ciudad Universitaria se localiza en la zona del Pedregal al suroeste del Valle de México (*figura 1.1*), geográficamente tiene las siguientes características:

- Latitud: norte entre los paralelos 19°18'22" y 19°20'06".
- Longitud: oeste entre los meridianos 99°10'15" y 99°12'02".
- Altitud: entre los 2,250 y 2,360 metros sobre el nivel medio del mar.

El área aproximada del Campus es de 740 hectáreas, de las cuales 146 conforman una reserva ecológica. Las longitudes máximas de la superficie del Campus son: 3.4 kilómetros en dirección Norte-Sur y 3.6 kilómetros en dirección este-oeste.

Las condiciones climatológicas registradas en Ciudad Universitaria durante 1993 se resumen en el *cuadro 1.1*.

Cuadro 1.1 Condiciones climatológicas en Ciudad Universitaria.

FACTOR CLIMÁTICO	REGISTROS
<i>Vientos dominantes</i>	La dirección del viento que predomina la mayor parte del año es norte-sur, teniéndose en segundo lugar los de dirección noroeste y por último se tienen vientos de muy baja frecuencia en dirección sur-norte.
<i>Temperatura</i>	Registros puntuales : Máxima : 32.5 °C (junio 5) Mínima : 0.8 °C (febrero 11) Promedio diarios: Máxima : 23.1 °C (junio 7) Media : 16.3 °C Mínima : 8.8 °C (enero 26)
<i>Humedad relativa</i>	Máxima : 86% (julio 8) Mínima : 29% (febrero 5) Promedio anual : 51 %
<i>Precipitación</i>	Tormenta máx.: 54.9mm (junio 20) Precipitación total acum. : 739.1 mm
<i>Evaporación</i>	Registros diarios : Máxima : 10.82 mm (agosto 1°) Mínima : 0.32 mm (sept. 1°) Promedio anual : 4.07 mm

Datos proporcionados por el Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la UNAM, 1993.

Geológicamente está formada por lavas y piroclásticos basálticos de alta permeabilidad con algunos sedimentos aluviales y lacustres de la edad cuaternaria. El tipo de formaciones geológicas que conforman la zona donde se encuentra ubicada Ciudad Universitaria, permiten un alto nivel de infiltración a través del suelo, por lo que la zona del Pedregal es considerada como zona de recarga de los mantos acuíferos muy importante dentro de la Ciudad de México junto con la serranía del Ajusco y Magdalena Contreras.

En este sentido, los objetivos para el uso y manejo del agua dentro de la planeación de la Ciudad Universitaria, están enmarcados por la necesidad de aumentar la eficiencia en dichos renglones para lograr un abastecimiento y una disposición tales que disminuyan el impacto causado por la sobreexplotación agua subterránea.

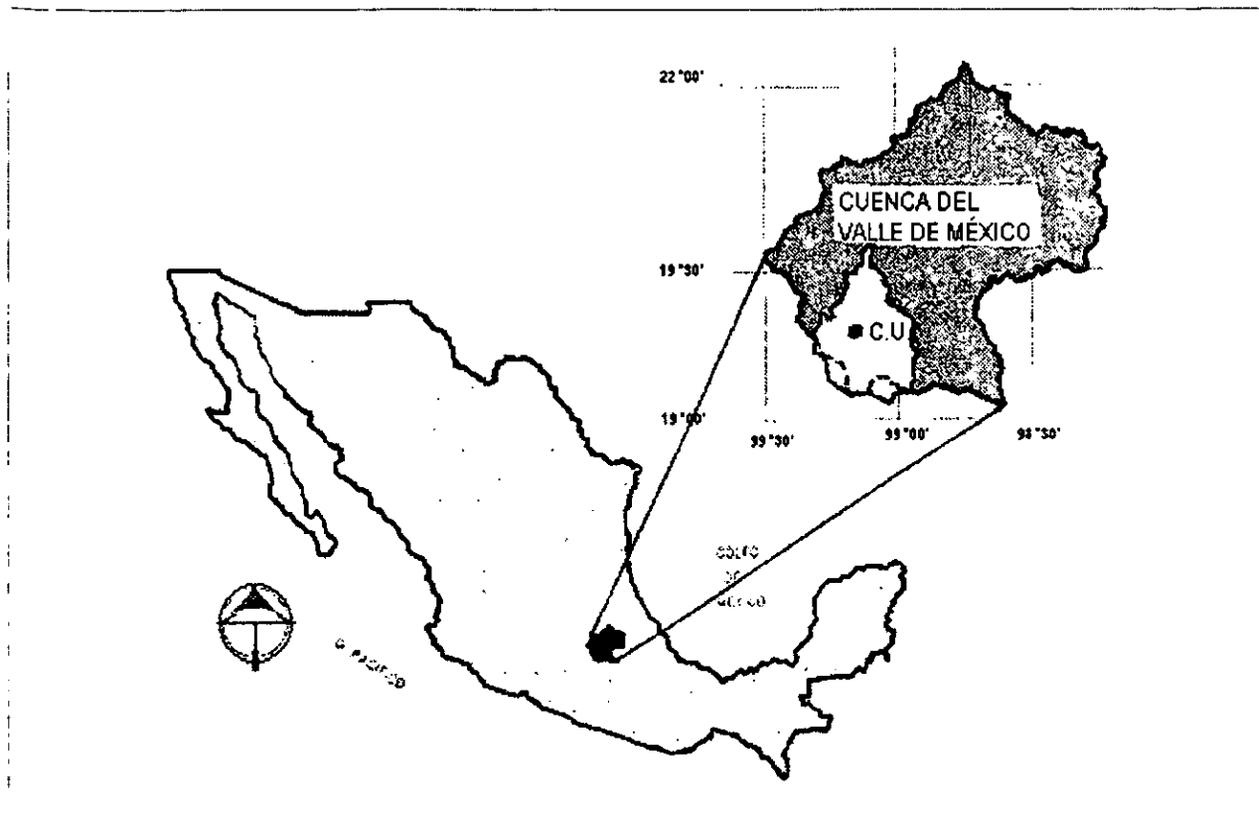


Figura 1.1 Localización regional de Ciudad Universitaria dentro de la Cuenca del Valle de México.

1.2 Infraestructura para el desalojo de las aguas residuales y drenaje de Ciudad Universitaria

El sistema de alcantarillado está formado por una serie de conductos subterráneos, obras y accesorios, destinados a la colección y transporte de las aguas negras, de lluvia o la mezcla de ambas hacia el punto de disposición final de las mismas. Los objetivos de un sistema de alcantarillado bien planeado (incluyendo una disposición adecuada de las aguas residuales) son: resguardar la salud de la población disminuyendo el riesgo de enfermedades de origen hídrico (fiebre tifoidea, disentería, cólera, etc.), evitar la contaminación del agua subterránea, contribuir a la disminución de fauna nociva y contribuir al bienestar de la población (Babbitt, 1983).

1.2.1 Crecimiento de la población en Ciudad Universitaria

En Ciudad Universitaria, la población escolar y el número de instituciones de investigación y educación se han incrementado de una manera explosiva en los últimos veinte años, debido principalmente al acelerado crecimiento de la demanda de servicios educativos de nivel superior por parte de la población.

A principios de la década de los sesenta, la población de Ciudad Universitaria, ascendía a 34,800 usuarios entre alumnos, personal docente y administrativos, a principios de la década de los setenta la población era de 76,530 usuarios y a principios de la década de los ochenta era ya de 127,910 usuarios. Este crecimiento acelerado del número de usuarios creó la necesidad de construir nuevos espacios para la investigación y la cultura que se construyeron de una manera rápida, dispersa y con un cobertura deficiente de los servicios de alcantarillado.

Un estudio realizado por el Instituto de Ingeniería y la Dirección General de Obras de la UNAM en 1995, reveló que dentro de esta zona de Ciudad Universitaria, existen zonas que carecen de sistema de drenaje en donde se vierten aproximadamente 1,300 m³ de agua residual diariamente en las grietas de la capa rocosa después de un pretratamiento deficiente en fosas sépticas o de manera directa en algunos casos, constituyendo una importante fuente de contaminación para el agua subterránea (*Comisión para el Control Ecológico del Campus, 1996*).

Aunque a partir de 1980 la UNAM decidió tomar medidas para controlar el crecimiento de la población estudiantil, el rezago en la cobertura de los servicios de alcantarillado dentro de Ciudad Universitaria es muy importante y es necesario ampliar la red actual, además de disminuir la carga de contaminación de las mismas antes de su disposición final.

1.2.2 Sistemas de alcantarillado y tratamiento de agua

El sistema actual de drenaje de Ciudad Universitaria, se puede dividir en dos partes (*figura 1.2*):

1. Un sistema combinado que capta y conduce las aguas negras y de lluvia hacia la planta de tratamiento de aguas residuales de las inmediaciones de Copilco, para su tratamiento y su posterior reuso en el riego de áreas verdes y jardines. La red tiene una longitud aproximada de 17,500 metros transportando a la planta de tratamiento las aportaciones de las Escuelas, Facultades y otras dependencias que se ubican en la llamada zona "antigua", la zona del estadio Olímpico y la zona deportiva del estadio de prácticas incluyendo a la Escuela Nacional de Trabajo Social, Facultades de Contaduría e Ingeniería, Institutos de Ingeniería y Matemáticas Aplicadas, así como la mayor parte de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y el Instituto de Psiquiatría y Salud Mental de la Facultad de Medicina. La planta de tratamiento de aguas residuales mencionada tiene una capacidad instalada de 40 l/s (3,456m³/d) y recibe también las aguas residuales de la colonia Copilco el Alto, derivando a el sistema de drenaje profundo los caudales que exceden su capacidad.
2. Una serie de alcantarillas de pequeña longitud que captan las aguas servidas o pluviales y las conducen a fosas sépticas o resumideros con el fin de disponerlas finalmente en las grietas de la capa rocosa. Esta práctica no constituye una fuente de contaminación importante mientras las descargas son pequeñas ya que el ambiente tiene capacidad de neutralizar los efectos contaminantes de ellas, pero a medida que la magnitud de las descargas crece, la capacidad depuradora del ambiente se rebasa y la contaminación del suelo y de los acuíferos tiene una mayor probabilidad de ocurrencia. En este sentido se han detectado varias zonas dentro del Campus que constituyen un peligro potencial de contaminación de los recursos naturales de la región:
 - La zona de GEOS constituido por los edificios que se encuentran dentro de la megamanzana limitada por los circuitos exterior y de la investigación científica.
 - La zona limitada al sur por la reserva ecológica de Ciudad Universitaria y al norte por el circuito exterior, conformada por la Coordinación de la Universidad Abierta, la Dirección General de Desarrollo Institucional, el Centro de Instrumentos, el Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE), la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA) y la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración.

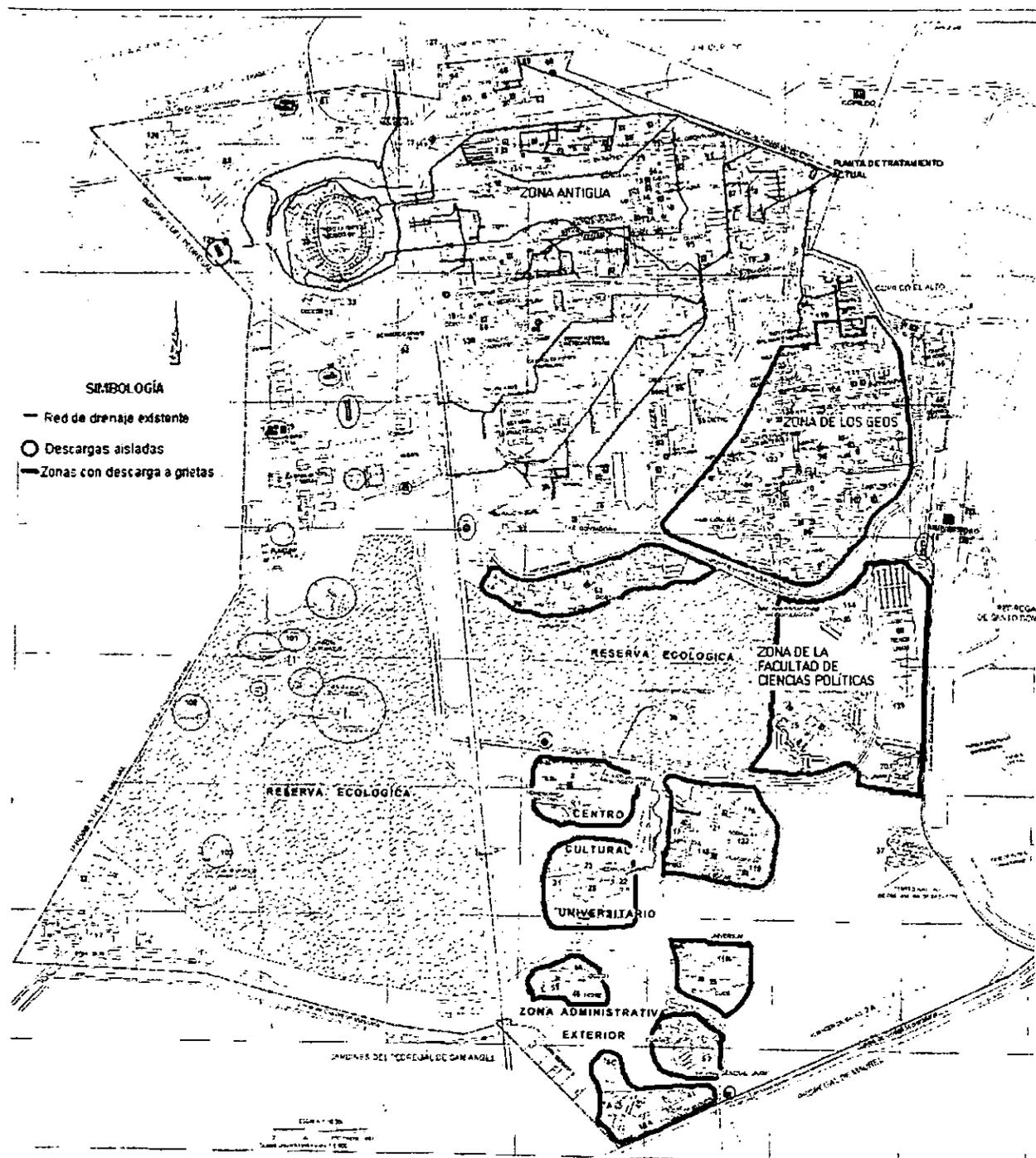


Figura 1.2 Situación actual del drenaje en Ciudad Universitaria.

- La Zona Cultural conformada por la Sala Netzahualcóyotl, las salas de cine Julio Bracho y José Revueltas, una cafetería, el Teatro Juan Ruiz de Alarcón, salas Miguel Covarrubias, Carlos Chávez, el Centro Universitario de Teatro, entre otros.
- La Biblioteca Nacional y el Instituto de Investigaciones Bibliográficas
- La zona Administrativa Exterior, incluyendo el taller de conservación.

- La zona del UNIVERSUM, incluyendo la Casita de las Ciencias.
- La manzana de investigaciones del área de Ciencias Sociales, limitada al oeste por la Zona Cultural y al sur por el circuito Mario de la Cueva.
- Finalmente las descargas aisladas del CENAPRED, de la Dirección General de Obras y Servicios Generales, del Almacén de Bajas y del edificio Multifamiliar.

1.2.3 Problemática actual en la zona de los GEOS

Por el número de edificios y por su extensión, la zona de los GEOS constituye, una zona de particular interés pues sus descargas se estiman en 10 l/s y constituyen la zona sin red de alcantarillado con mayor producción de aguas residuales.

Además las instalaciones existentes para el drenaje de la zona están sumamente dispersas y en algunas ocasiones el sitio de la descarga se encuentra en sitios cuya ubicación dificulta su aprovechamiento para la conexión a el nuevo proyecto. A continuación se detallan algunos de los problemas detectados.

- La descarga de las aguas residuales de manera muy dispersa para una misma zona y a veces existencia de varias descargas para un mismo edificio.
- Combinación de aguas grises (agua para limpieza del edificio y de laboratorio) con bajadas de agua pluvial en algunos edificios.
- Deterioro general de las instalaciones de drenaje debido principalmente a la falta de mantenimiento.
- Desconocimiento de la ubicación de las mismas por parte de los trabajadores de las dependencias de la zona.
- Azolvamiento de las grietas más antiguas lo que provoca que su capacidad de infiltración sea en la actualidad menor que la cantidad de agua descargada.
- Bloqueo de registros de drenaje con nuevas construcciones realizadas por las propias dependencias.
- Existencia de estructuras que bloquean o dificultan las posibles salidas del drenaje en algunas zonas.
- Niveles de descarga más bajos que los del resto de la zona debido a la construcción de edificios nuevos con baños en sótanos

Por otro lado, existe en la mayoría de los edificios una separación de las descargas de aguas negras y pluviales, lo que facilita el diseño de la red de drenaje.

El número, tipo y tamaño de las instalaciones para la conducción fuera de los edificios, así como para la disposición final de las aguas residuales de la zona de los GEOS se muestra en los cuadros 1.2 y 1.3 (comisión del plano regulador, 1993):

Cuadro 1.2 Longitud de la red actual de alcantarillado de la zona de los GEOS según la forma de la descarga y origen del agua.

Tipo de agua conducida	Forma de la descarga	Longitud [m]
Pluvial	A grietas	1,920
Negra	A grietas	750
	A fosas sépticas	765
	A fosas sépticas con descarga a grietas	480
	A resumideros	50
TOTAL		2,045

Cuadro 1.3 Tipo y número de instalaciones para la disposición de agua residual en la zona de los GEOS.

Tipo de instalación	Número	Tipo de agua descargada
Desagüe a grietas	58	AP
	38	AN
Fosas sépticas	18	AN
Fosas sépticas con descarga a grietas	11	AN
Desagüe a resumidero	18	AN
TOTAL		143

AN AGUAS NEGRAS
AP AGUAS PLUVIALES

1.3 Problemas sanitarios y ambientales provocados por las aguas residuales en aguas subterráneas

Las actividades humanas generan una gran cantidad de desechos y provocan perturbaciones en el ciclo hidrológico y en la circulación de las aguas. El resultado es la contaminación de las mismas, unas veces de forma depurable pero otras veces prácticamente irreversible.

La contaminación de las aguas superficiales es fácilmente detectable y por ello se puede actuar de una manera rápida para evitarla o disminuirla, mientras que en las aguas subterráneas las acciones de prevención o protección casi siempre llegan tarde debido a que la explotación de las mismas se encuentra dispersa, además de que cuando la contaminación de ellas se hace perceptible, usualmente ya ha alcanzado un desarrollo considerable (Custodio, 1983).

1.3.1 Vulnerabilidad de los acuíferos subterráneos a la contaminación

En general, las aguas subterráneas está resguardada de la contaminación por una barrera natural constituida por la llamada "zona no saturada", que abarca de la superficie del terreno a la superficie freática, en la cual tienen lugar una serie de procesos que evitan, reducen o retardan su contaminación: filtración, adsorción, eliminación de microorganismos, precipitación, fijación de metales pesados, volatilización, degradación de hidrocarburos y de compuestos orgánicos sintéticos, entre otros. Adicionalmente, cuando los contaminantes llegan a rebasar esta capa protectora e ingresan a los acuíferos, son diluidos y dispersados en la masa de agua subterránea, además de que en ella se transportan con relativa lentitud (figura 1.3).

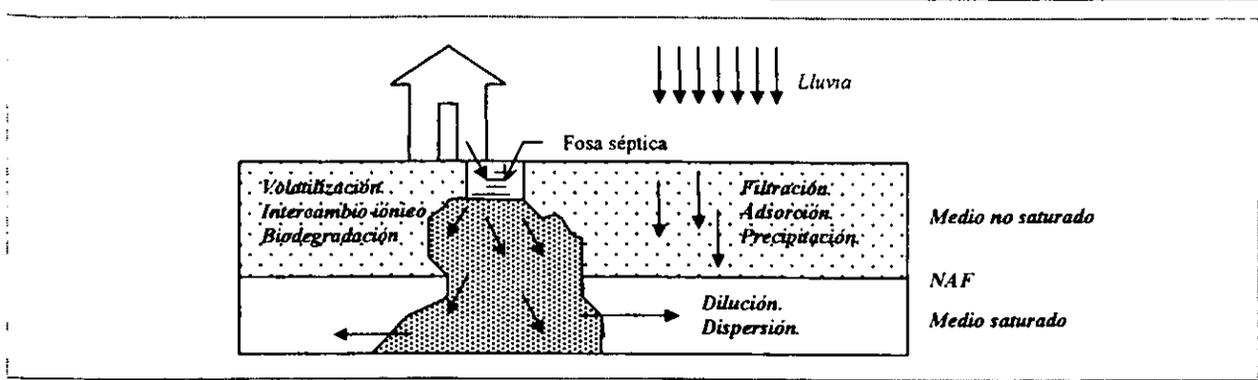


Figura 1.3 Procesos de depuración de contaminantes en el subsuelo y los acuíferos.

Adaptado de Custodio, 1983

Gracias a los procesos referidos, las aguas subterráneas están menos contaminadas que las superficiales. Sin embargo estos procesos depuradores tienen un límite y un manejo inadecuado de los acuíferos provoca en ellos contaminación

Cuando una población se establece o explota los terrenos sobre un acuífero, puede provocar su contaminación de dos formas (Athié Lambarri, 1987) :

- Por infiltración al subsuelo de sustancias contaminantes (como aguas residuales provenientes de fosas sépticas, lixiviación de residuos sólidos domésticos o industriales que se originan por su disposición inadecuada o por fugas en redes de alcantarillado y en depósitos e instalaciones industriales).
- Por el arrastre inducido de sales y otras sustancias minerales debido a la sobreexplotación del acuífero.

En general la calidad del agua subterránea y el riesgo de contaminación de ella, dependen de diversos factores como: condiciones de confinamiento del acuífero, litología, velocidad de circulación del agua, calidad del agua de infiltración, relaciones con otras aguas o acuíferos, y de las leyes del movimiento de sustancias transportadas por el agua.

Según Foster e Hiriata (1991), la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación se puede determinar con la evaluación de tres cualidades:

- *Periodo relativo de retraso para el acceso del contaminante hacia el acuífero.*- Depende de las características de conductividad hidráulica (tamaño de los poros del suelo) de la zona no saturada y de la profundidad del NAF.
- *Capacidad de retención fisico-química para la retención del contaminante.*- Depende de la composición química, granulometría y estructura de los estratos de la zona no saturada.
- *Potencial general de dilución en el medio hidrológico.*- Depende del tamaño del acuífero y de las condiciones de recarga.

Regionalmente, el acuífero en Cd. Universitaria, presenta las características que se muestran en el cuadro 1.4.

Cuadro 1.4 Características del acuífero de Cd. Universitaria.

FACTOR	VALOR
Condiciones del acuífero	Subconfinado
Profundidad del nivel freático (m)	120
Condiciones de explotación	Sobreexplotado
Conductividad hidráulica en la zona no saturada (m/s)	$> 10^1$
Estratificación del medio acuífero	Mediana
Litología global	Lavas volcánicas recientes
Conductividad hidráulica del medio acuífero (m/s)	$10^4 - 10^3$
Dimensión más corta del acuífero (km)	739.1
Precipitación media anual (mm)	Lluvia
Origen de la recarga	Lluvia

Como se observa en el *cuadro 1.4*, las características geológicas del acuífero subterráneo predominantes en la región de Ciudad Universitaria, permiten un rápido flujo del agua a través de las capas de roca del mismo. Esta condición propicia la recarga rápida del acuífero pero también provoca una reacción muy débil contra la contaminación y que pueda extenderse con facilidad y rápidamente a distancias incluso de varios kilómetros. La regeneración de acuíferos contaminados, suele ser muy lenta, a veces de varios años y casi siempre tiene costos muy altos en términos económicos.

Debido a la difícil regeneración de los acuíferos, las medidas ambientales para combatir su contaminación deben ser preferentemente preventivas como la construcción de sitios de disposición adecuados (que dificulten la infiltración de los materiales contaminantes, p. ej. un medio filtrante) y la disposición de aguas con niveles de tratamiento adecuados en función de las características del acuífero para aprovechar la disposición como un medio de recarga del acuífero.

1.3.2 Contaminación regional de la zona del pedregal

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, realiza periódicamente el monitoreo de la calidad del agua extraída del acuífero mediante el análisis de diferentes parámetros del agua extraída en los pozos que se encuentran bajo su jurisdicción.

Partiendo del hecho de que la calidad del agua subterránea está en función de las características geológicas y edafológicas presentes en el suelo donde se alojan los acuíferos, y de la incorporación de sustancias provenientes de lixiviados de suelos contaminados por actividades humanas, la selección de los diferentes parámetros analizados en el laboratorio está en función de su utilidad para determinar el posible origen de la contaminación, de esta manera se distinguen tres grupos (Santa María, 1998):

- *Parámetros que se relacionan con un origen geológico:* conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, cloruros, fluoruros, calcio, sodio, potasio, radón 222 y partículas α y β .
- *Parámetros que manifiestan contaminación por actividades humanas de tipo municipal:* el nitrógeno en sus diferentes estados (nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y proteico), bacterias, virus, organismos microscópicos parásitos y compuestos orgánicos sintéticos.

- *Parámetros que manifiestan contaminación por actividades humanas de tipo industrial:* metales pesados (arsénico, cadmio, zinc, cromo, fierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo y selenio), cabe mencionar que la presencia de este grupo de metales puede estar relacionada con factores naturales, por lo que se debe conocer bien la composición del suelo para determinar el origen de estos contaminantes.

La calidad fisicoquímica de la zona de los pedregales de Coyoacán, es buena a lo largo de su historial de explotación, aunque la calidad bacteriológica es deficiente en los pozos Ajusto y Caracol. Este problema está ligado probablemente a el uso de fosas sépticas en la zona, debido a la carencia de red de drenaje hasta hace poco tiempo. La calidad bacteriológica en la zona del pedregal de San Ángel ha sido bastante buena a lo largo de los años, con reportes de problemas aislados (Santa María, 1998).

Aunque se ha iniciado el saneamiento de la zona, los pozos contaminados parecen haber sido afectados de forma permanente o por lo menos se observan pocas probabilidades de revertir la situación a mediano plazo.

1.3.3 *Precauciones para la recarga artificial de acuíferos*

La recarga artificial es el conjunto de técnicas cuyo objetivo principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo natural del agua. Los objetivos generales más comunes de la recarga de acuíferos son (Custodio, 1983):

- Restaurar un acuífero sobreexplotado.
- Mantener y regularizar los recursos, en especial de cara a los estiajes.
- Almacenar agua local o importada.
- Depurar el agua que se recarga por estancia prolongada en el acuífero.
- Combatir la intrusión marina y la contaminación en regiones costeras.
- Utilizar el acuífero como conducto de distribución cuando ya existe una red apropiada de pozos.
- Diluir las aguas existentes en el acuífero y ayudar a mantener un apropiado balance de sales, principalmente en zonas agrícolas.
- Reducir el hundimiento del terreno por exceso de bombeo (no restituye los niveles iniciales, sólo se detiene o frena).
- Mezclar aguas de diferentes calidades para mejorar la calidad de una de ellas.

Los métodos de recarga de los acuíferos se dividen en dos grandes grupos:

- *Recarga inducida.*- que es la creación de condiciones que favorezcan la infiltración natural.
- *Recarga artificial.*- que consiste en la preparación de dispositivos especialmente diseñados para este fin.

En el *cuadro 1.5* se explican las características de cada método.

Cuadro 1.5 Métodos para la recarga artificial de acuíferos

Método	Forma de la recarga	Ejemplos	Observaciones
Inducida	Por preparación adecuada de superficies	terrazas, sembradíos agrícolas adecuados, etc.	
	Por la sobreexplotación controlada de puntos adecuados para lograr una penetración de un mayor volumen de agua en el acuífero	bombeos cerca de cuerpos superficiales (ríos y lagos).	La colmatación del lecho del río puede constituir una limitante cuando las aguas superficiales son turbias o contaminadas. Para evitar este tipo de problema, se recomienda la instalación de embalses de decantación antes de la recarga y la regulación de extracciones para mantener caudales mínimos de dilución durante la época de estiaje.
Artificial	Recarga en superficie	zanjas y surcos balsas acondicionamiento de cauces de ríos fosas	Requieren de una gran superficie Requieren mantenimiento constante para desecar y limpiar los limos depositados en el fondo
	Recarga en profundidad	pozos	La superficie filtrante necesaria es pequeña pero requiere altas cargas hidráulicas. No se aprovecha la capacidad de autodepuración del suelo y se necesita una mejor calidad de agua para la inyección

Fuente de los datos: Custodio, 1983

Para disminuir los riesgos de contaminación del acuífero a través de la recarga artificial así como para asegurar el buen funcionamiento de la misma, es necesario que el agua utilizada para tal fin reúna ciertas características de calidad. La calidad del agua utilizada para la recarga depende de:

- El método de recarga.
- Uso destinado para el agua resultante.
- Naturaleza del terreno que se va a atravesar.

Para determinar la calidad requerida por el agua de recarga y poder determinar los objetivos del tratamiento previo, es necesario conocer las capacidades naturales de asimilación del terreno.

En general, la principal limitante para el funcionamiento adecuado de un sistema de recarga, la constituye el riesgo de colmatación de la superficie natural filtrante, que es la obturación de los poros del suelo por las partículas contenidas por el agua de recarga. La colmatación de la superficie filtrante trae como consecuencia la disminución de la capacidad de recarga y puede tener tres orígenes (Custodio, 1983):

1. *Por materia en suspensión.* - Cuando las partículas en suspensión que contiene el agua de recarga se depositan en la parte exterior del acuífero formando una película de lodo.
2. *Colmatación biológica.* - Se da por la existencia de algas en el agua que se desarrollan en las condiciones anaerobias de los sistemas de recarga.
3. *Colmatación química.* - Se da por la precipitación de sales de calcio y magnesio en el fondo del acuífero, cuyos efectos se agravan en suelos arcillosos.

Por lo anteriormente explicado, es de primordial interés para el tratamiento previo, la remoción de partículas suspendidas, algas, sales. Además según estudios realizados por varios autores (Custodio, 1991), en el subsuelo y bajo ciertas condiciones como la existencia de nutrientes, se dan condiciones propicias para la vida de algunas bacterias, protozoarios y virus, por lo que es necesario vigilar también la existencia de estos organismos en el agua de recarga. En este sentido se resumen algunas recomendaciones para la calidad del agua para recarga en cuadro 1.6.

Cuadro 1.6 Recomendaciones de calidad para el agua de recarga

<i>Materia</i>	<i>Efectos</i>	<i>Recomendaciones</i>
Partículas suspendidas	Colmatación	<i>Que el contenido de SST¹ esté entre 5 y 100 mg/l. En acuíferos de material granular, la velocidad de entrada puede ser muy grande y la colmatación alcanzar profundidades tan grandes que hagan incosteable la posterior descolmatación. Para evitar este efecto, se puede colocar un filtro de arena fina de hasta 70 cm de espesor.</i>
Algas	Colmatación biológica	<i>Que el contenido de algas sea de 10 mg/l y programar ciclos de llenado y vaciado en los sistemas de recarga para mantener condiciones aerobias.</i>
Bacterias	Contaminación de las fuentes de consumo causando enfermedades	<i>Que el contenido de bacterias sea menor a 10³ colonias/cm³ y situar los aprovechamientos para consumo (pozos) a una distancia mínima de 15 m de las posibles fuentes de contaminación.</i>
Calcio y Mangeso	Colmatación química	<i>Minimizar el contenido de estas sales en el agua de recarga.</i>

¹ Sólidos Suspendidos Totales

Fuente de los datos: Custodio, 1983

1.4 Normatividad y legislación.

En México, la regulación del uso y manejo del agua se establece en diversas leyes según lo establecido en el *artículo 27 constitucional: Ley General del Equilibrio y Protección del Ambiente, Ley de Aguas Nacionales* y su Reglamento y *Ley Federal de Derechos para el Uso y Aprovechamiento del Agua y de los Cuerpos Receptores*. En este sentido la Comisión Nacional del Agua emprendió la tarea de dar congruencia a los diversos instrumentos legales, de acuerdo con los lineamientos establecidos para la política ambiental en el Programa del Medio Ambiente 1995-2000.

En el caso de las aguas residuales son de observancia obligatoria los lineamientos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, en materia de protección de contaminación a los cuerpos de agua :

NOM-001-ECOL-1996, publicada el 6 de enero de 1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, en función del tipo y uso del cuerpo receptor.

NOM-002-ECOL-1996, publicada el 9 de enero de 1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales (principalmente de tipo industrial) a los sistemas de alcantarillado, con el objeto de proteger la infraestructura de drenaje sanitario y controlar las descargas que afectan la salud humana y el medio ambiente general.

NOM-ECOL-003-1996, publicada el 14 de enero de 1998 (como proyecto). Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el reuso de las aguas residuales tratadas.

En este sentido, durante la fase operativa el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales deberá cumplir con los parámetros y límites establecidos para descargas en *embalses naturales y artificiales de aguas de uso público urbano (cuadro 1.7)*.

Cuadro 1.7 Límites máximos permisibles para el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

PARÁMETROS¹	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	Promedio diario	Promedio mensual
Temperatura (°C)	40	40
pH (en unidades de pH)	entre 6.5 y 7.5	Entre 6.5 y 7.5
Grasas y Aceites	15	25
Materia flotante	ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2
Sólidos suspendidos totales	40	60
Demanda bioquímica de oxígeno T	30	60
Nitrógeno Kjeldahl	5	10
Fósforo total	5	10
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	2,000	1,000

¹ En miligramos por litro, excepto cuando se especifique.

NOM-ECOL-001-1996

Bibliografía.

1. Babbit. *Sistemas de Alcantarillado*. Editorial Limusa. México, 1983.
2. Comisión para el Control Ecológico del Campus, *Normatividad para el Control Ecológico del Campus*, Cap. 2 Programa para el Manejo Eficiente del Agua, UNAM, México, 1996.
3. Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería, *Proyecto Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario*, UNAM, México, 1996.
4. Custodio Emilio et al, *Hidrología Subterránea*, segunda edición, Tomo 2, capítulos 18 y 19, Ediciones Omega S.A. , Barcelona, 1983.
5. Dirección General de Estadística y Sistemas de Información Institucionales de la UNAM. *AGENDA ESTADÍSTICA. UNAM*, México, años de 1960, 1970 y 1980.
6. Diario Oficial de la Federación. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Lunes 6 de enero de 1998. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Pp. 68-81.
7. Hernández López, Oscar; Guash y Saunders Juan Carlos y Cortez Pérez Miguel Angel. *Comentarios Sobre el Plan Maestro de Agua Potable 1995-2000*. Agua y Saneamiento, Vol. 1 No. 3. Pp. 11-18. México, 1998.
8. Pasarán Yáñez, Armando. *Evaluación de un sistema de Tratamiento de Aguas Residuales in Situ para la Universidad Autónoma de Morelos*. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1998.
9. Santa María Beatriz. *Diagnóstico de la calidad del agua en el acuífero del Valle de México*. Agua y Saneamiento, Vol. 1 No. 3. Pp. 141-51. México, 1998.

Capítulo 2

***ALTERNATIVAS PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES***

ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

2.1 Características de las aguas residuales municipales y necesidad de saneamiento

Toda comunidad genera residuos líquidos y sólidos. La parte líquida o agua residual, procede principalmente del agua suministrada a la población después de haber sido utilizada. Desde el punto de vista de su generación, las aguas residuales pueden definirse como aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos comerciales e industriales, a los que pueden agregarse eventualmente aguas superficiales, subterráneas y pluviales (Metcalf y Eddy, 1996).

Características de las aguas residuales y necesidad de saneamiento

El agua suministrada por un sistema de abastecimiento es evacuada después de su empleo como agua residual. El agua residual está formada esencialmente por agua (99.9 %), más una pequeña cantidad de sólidos (0.1 %) que pueden ser orgánicos e inorgánicos, encontrándose disueltos o en suspensión (figura 2.1).

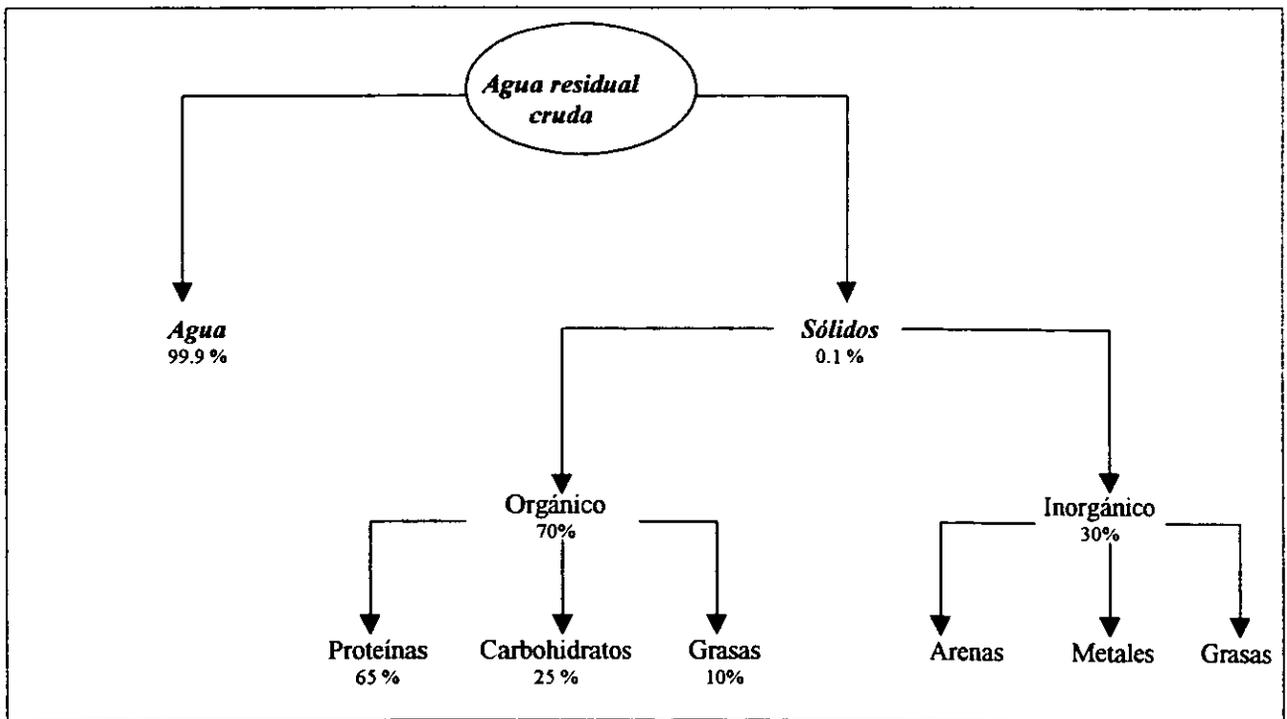


Figura 2.1 Composición típica del agua residual municipal.

Tebbutt, 1994

Alternativas para el tratamiento de las aguas residuales

Los componentes que configuran el agua residual que genera una comunidad dependen del tipo de red de alcantarillado empleado y pueden incluir (Metcalf y Eddy, 1996):

- Agua residual doméstica.- agua residual procedente de residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares.
- Agua residual industrial.- agua residual en la cual predominan vertidos industriales.
- Infiltraciones y conexiones incontroladas.- agua que penetra de forma no controlada en la red de alcantarillado procedente del subsuelo, y agua pluvial que es descargada a la red a partir de fuentes tales como bajantes de edificios, drenes de cimentaciones, y alcantarillas pluviales.
- Agua pluvial.- agua resultante de la escorrentía superficial.

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

a) *Características físicas.* Las propiedades físicas son fácilmente observables y constituyen una descripción del agua que se puede registrar con los sentidos además de la cantidad de sólidos presentes en el agua. En el cuadro 2.1 se muestran las características físicas de mayor importancia en el tratamiento de las residuales.

Cuadro 2.1 Principales características físicas de las aguas residuales.

<i>Característica</i>	<i>Unidades de medición</i>	<i>Descripción</i>	<i>Importancia en el tratamiento</i>
Sólidos Totales (ST) *	(mg/l)	Contenido total de sólidos en el agua. Se determinan al evaporar una muestra de agua residual a una temperatura de 103 a 105 °C. Se subdividen en: Volátiles (SSV y SDV) (mg/l) Sólidos orgánicos que se oxidan y volatilizan en una mufla a 550 ± 50 °C. Reflejan el contenido orgánico de sólidos (disueltos o sedimentables). Fijos (SSF y SDF) (mg/l) Son los residuos o cenizas que quedan como cenizas al calentarlos a 550 ± 50 °C. Reflejan el contenido inorgánico de sólidos (disueltos o sedimentables).	Poca importancia si se hace una interpretación aislada. Útil al relacionarlo con otros parámetros por ejemplo para detectar las sales inorgánicas disueltas.
Sólidos suspendidos (SS)	(mg/l)	Sólidos retenidos en un filtro de fibra de vidrio o membrana de policarbonato.	Están sujetos a una rápida degradación 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. Generalmente están compuestos por sales, microorganismos y materia coloidal.	La fracción coloidal no puede removerse por sedimentación, sino por reacciones biológicas o coagulación seguida de sedimentación.
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 obtendrán en la sedimentación primaria.
Olor		Causado por gases desprendidos de la descomposición de materia orgánica y/o por sustancias incorporadas al agua residual.	Factor importante en el diseño, ubicación y operación de la planta de tratamiento de agua residual, por afectar directamente a la población cercana.

Cuadro 2.1 Principales características físicas de las aguas residuales (continuación).

Característica	Unidades de medición	Descripción	Importancia en el tratamiento
Temperatura	(°C)	En general, la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura de la fuente de generación y que la temperatura del aire (excepto en climas muy cálidos).	Parámetro fundamental por su efecto en otras propiedades como aceleración de la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas que tienen lugar en el agua, reducción de 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/m³)	Se define como la masa por unidad de volumen.	Importante por la formación de corrientes de tipo vertical en tanques de sedimentación y otras unidades de tratamiento.
Color		Agua residual fresca: varía de gris a café claro. Agua residual séptica: gris oscuro o negro. El color de las aguas residuales industriales depende del tipo de compuestos contenidos en ella.	Parámetro importante, ya que los consumidores rechazan el agua por razones estéticas cuando está muy coloreada y puede ser inaceptable para ciertos usos industriales.
Turbiedad	(UTN)	Se mide basándose en la cantidad de la luz dispersada por una muestra en comparación con la cantidad de luz dispersada por una suspensión de referencia.	Parámetro que indica la calidad de las aguas en relación con la materia coloidal y suspendida en descarga de aguas residuales o naturales.

* Ver figura 2.2

Fuente: Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

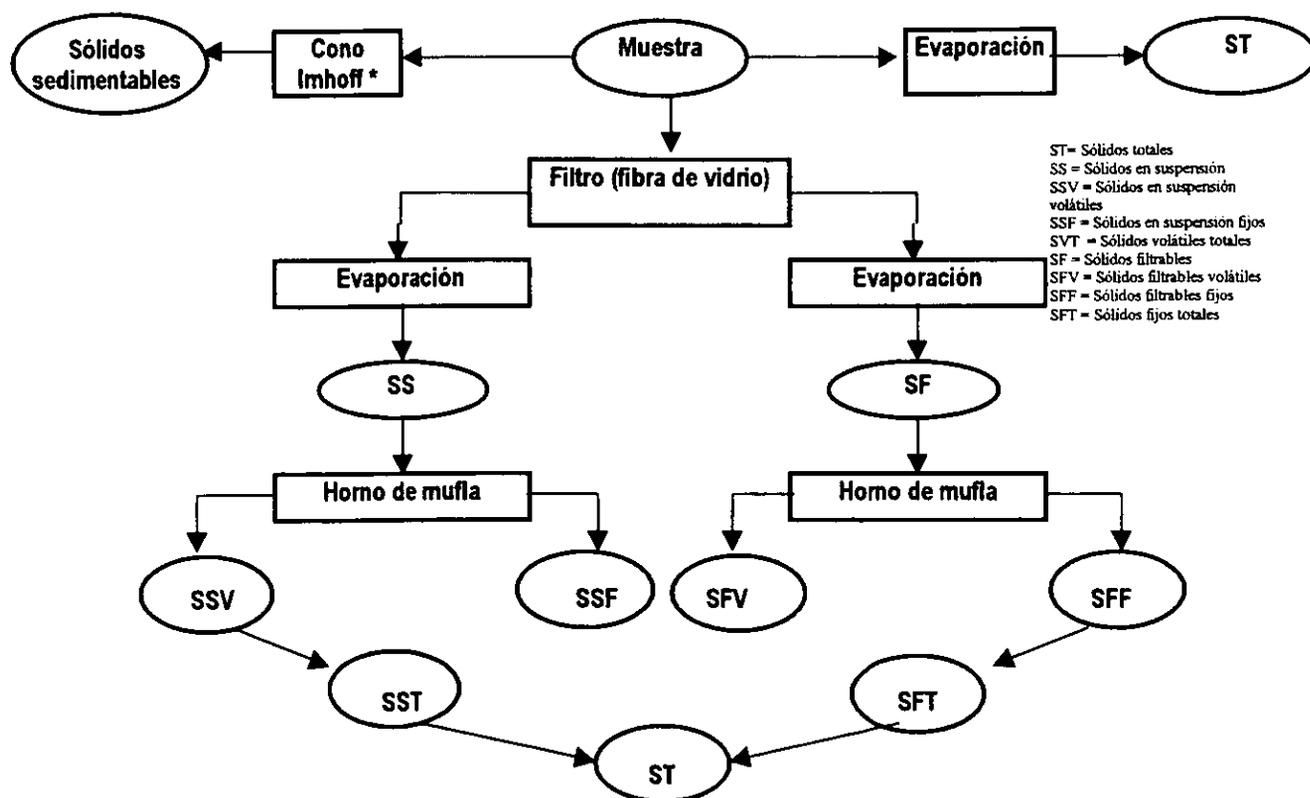


Figura 2.2 Metodología para la evaluación de los sólidos presentes en el agua residual. Metcalf y Eddy, 1996.

b) *Características químicas.* Las propiedades químicas de las aguas residuales se determinan con base en distintos experimentos o con diferentes aparatos. Nos dan una idea general de la medida del contenido orgánico (cuadro 2.2), la materia orgánica (cuadro 2.3), gases presentes (cuadro 2.4) y materia inorgánica (cuadro 2.5)

Alternativas para el tratamiento de las aguas residuales

Cuadro 2.2 Principales características químicas de las aguas residuales: Medición del contenido orgánico.

Característica	Unidades de medición	Descripción	Importancia en el tratamiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	(mg/l)	Indica la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar bioquímicamente la materia orgánica.	Parámetro útil para determinar la cantidad de oxígeno necesario 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)	Indica la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación química de la materia orgánica. La DQO es mayor que la DBO ₅ , ya que existe mayor cantidad de materia que es oxidable químicamente que biológicamente.	Parámetro útil para medir la materia orgánica presente en el agua residual que contiene compuestos tóxicos para la vida biológica. Se obtiene rápidamente (3 horas), por lo que sirve para controlar el funcionamiento de las plantas de tratamiento.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

Cuadro 2.3 Principales características químicas de las aguas residuales: Materia inorgánica.

Característica	Unidades de medición	Descripción	Importancia en el tratamiento
Potencial hidrógeno (pH)	Unidades de Ph $pH = -\log_{10} [H^+]$	Medición indirecta de la concentración de iones hidrógeno presentes en las aguas residuales (indican la acidez o alcalinidad de una muestra).	Es importante en los tratamientos de tipo biológico, ya que los microorganismos se desarrollan con pH entre 6 y 8. Sirve para controlar muchas reacciones químicas durante el tratamiento.
Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Medida de la capacidad para neutralizar ácidos, debido a la presencia de carbonatos, bicarbonatos o hidróxido.	Es importante para el tratamiento químico y como parámetro de control de los procesos biológicos de tratamiento. Ayuda a regular los cambios de pH.
Nitrógeno y fósforo	(mg/l)	Son los nutrientes básicos para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. Nitrógeno total: orgánico + amoníaco + nitrito + nitrato. Fósforo total: orgánico + ortofosfato + pirofosfato.	Nitrógeno: parámetro que ayuda para evaluar la tratabilidad biológica del agua residual. Fósforo: Escencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos.
Metales pesados	(mg/l)	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 adecuado desarrollo de los microorganismos. En grandes cantidades son tóxicos.
Dureza		La produce la presencia de iones metálicos formadores de bases (calcio y magnesio).	Evita la producción de espuma de los jabones y produce incrustaciones en las tuberías.
Cloruros	(mg/l)	Son compuestos de cloro contenidos en sales del suelo y desechos industriales y domésticos. Provoca sabor salado en concentraciones mayores a 250 mg/l.	Indicador de la presencia de orina en el agua. No son removibles con métodos convencionales de tratamiento.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

Cuadro 2.4 Principales características químicas de las aguas residuales: Gases presentes.

Característica	Unidades de medición	Descripción	Importancia en el tratamiento
Oxígeno disuelto	mg/l	Elemento disuelto en aguas en contacto con el aire. Su solubilidad en el agua depende factores como la temperatura, el contenido de sal y la presión atmosférica.	Es un elemento necesario para evitar la formación de olores desagradables en las aguas residuales y mantener las formas superiores de vida acuática.

Alternativas para el tratamiento de las aguas residuales

Cuadro 2.4 Principales características químicas de las aguas residuales: Gases presentes (continuación).

Característica	Unidades de medición	Descripción	Importancia en el tratamiento
Metano		Es el principal subproducto de la descomposición anaeróbica de los compuestos orgánicos de las aguas residuales.	Es un elemento combustible. Se puede utilizar para generar energía cuando la producción del mismo en una planta de tratamiento es suficientemente grande.
Sulfuro de hidrógeno		Se produce durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre.	Produce un olor desagradable. Cuando se oxida se vuelve corrosivo.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

Cuadro 2.5 Principales características químicas de las aguas residuales: Materia orgánica.

Característica	Unidades de medición	Descripción	Importancia en el tratamiento
Proteínas	(mg/l)	Componentes principales de los organismos animales. Son compuestos orgánicos muy inestables por lo que se descomponen rápidamente.	En grandes cantidades provocan olores desagradables por su descomposición. Son responsables del contenido de nitrógeno en las aguas residuales.
Carbohidratos	(mg/l)	Compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Más estables que las proteínas, por lo que su descomposición se dificulta. Son formadores de azúcar, almidón, celulosa y otras fibras vegetales.	La celulosa es el carbohidrato más resistente al tratamiento.
Grasas y aceites	(mg/l)	Compuestos formados por alcoholes, glicerinas y ácidos grasos. 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. Reducen el intercambio de gases con la atmósfera.
Agentes tensoactivos o sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/l)	Formados por moléculas orgánicas de gran tamaño y ligeramente solubles en agua. Contenidas en los detergentes sintéticos. Generalmente se concentran en la interfase aire-agua.	Provocan generación de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos receptores.
Contaminantes prioritarios		Son compuestos altamente tóxicos relacionados con procesos carcinógenos y mutaciones. Pueden ser de origen orgánico o inorgánico (benceno, metales pesados, arsénico, bario, etc.). Muchos de los que tienen origen orgánico se clasifican como compuestos orgánicos volátiles. Para evitar su difusión en el medio (debido a que no siempre se pueden transformar disminuyendo su toxicidad), se adoptan medidas de limitación de vertidos.	Se pueden eliminar, transformar, generar o transportar sin cambio alguno en los sistemas de alcantarillado o en las plantas de tratamiento por cinco mecanismos básicos: volatilización, degradación, absorción en el fango, circulación y mezcla de compuestos o elementos formadores de los contaminantes durante el proceso de tratamiento (generación).
Compuestos orgánicos volátiles (COV)		Son aquellos compuestos cuyo punto de ebullición está por debajo de los 100 °C, y/o una presión de vapor mayor que 1mm de Hg a 25 °C.	Su presencia de algunos de ellos en la atmósfera conlleva riesgos de salud pública y en la planta de tratamiento provocan problemas de salud de los operadores.
Pesticidas y agroquímicos		Formados por compuestos químicos de uso agrícola. Difícilmente presentes en aguas residuales urbanas.	Muchos de estos productos están catalogados como contaminantes prioritarios. Pueden provocar la muerte de los microorganismos que intervienen en el tratamiento.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

c) *Características microbiológicas.* Están relacionadas con el contenido de los microorganismos presentes tanto en el agua residual como los que intervienen en su tratamiento (si éste es de tipo biológico). El cuadro 2.6 presenta una clasificación de los principales grupos de microorganismos presentes en el agua residual.

Cuadro 2.6 Principales grupos de microorganismos presentes en las aguas residuales.

Grupo de microorganismos	Descripción	Importancia en el tratamiento
<i>Organismos eucariontes multicelulares</i>	Organismos con una distinción clara de las células y tejidos (tienen un núcleo real). Entre ellos se encuentran rotíferos, crustáceos, helechos, musgos, etc. Algunos de ellos son patógenos (helminths: taenia, giarda, etc.).	Sirven para determinar la toxicidad de las descargas de agua residual y para determinar la efectividad de los tratamientos biológicos secundarios para la eliminación de contaminantes orgánicos específicos.
<i>Organismos eucariontes unicelulares y multicelulares con estructura celular procariota</i>	Organismos con escasa o nula diferenciación de tejidos (con núcleo real). Los hay animales (protozoarios) y vegetales (algas y hongos). Muchos de ellos son patógenos.	Algas: importantes organismos fotosintéticos productores de oxígeno. Hongos: descomponen el carbono orgánico, soportan pH bajo y bajas concentraciones de nitrógeno. Protozoarios: controlan el equilibrio biológico entre los microorganismos que les sirven de alimento.
<i>Eubacterias y arqueobacterias</i>	Procariontes unicelulares (organismos sin membrana nuclear). Pueden ser de distintas formas (esferoidales o cocos, bastón, bastón curvado y filamentosas). Algunas de ellas son patógenas y producen enfermedades infecciosas graves como salmonelosis y cólera.	Intervienen en gran medida en la descomposición y estabilización de la materia orgánica.
<i>Virus</i>	Organismos parásitos constituidos por cadenas de material genético (ADN y ARN) y una cubierta protéica.	Requieren de su eliminación mediante desinfección.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

Las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, se determinan mediante estudios de caracterización, que consisten en tomar analizar en el laboratorio muestras tomadas en el sitio de interés. Como referencia se presentan en el cuadro 2.7 algunos parámetros de estudio frecuente y los resultados promedio de los análisis del agua residual doméstica.

Cuadro 2.7 Composición típica del agua residual doméstica.

Parámetro	Unidades	Concentración típica ¹		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1,200
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	100	220	350
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
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	mg/l	20	40	85
Fósforo total	mg/l	4	8	15
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasas y aceites	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	NMP/100ml	10 ⁰ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁸ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	<100	100-400	>400

Los valores de cloruros y sulfatos deben aumentar en la medida en que estos compuestos se encuentren presentes en las aguas de suministro
Metcalf y Eddy, 1996

Por su calidad, el contacto directo con las aguas residuales provoca problemas de salud en la población en general y de contaminación de las fuentes potenciales o existentes de abastecimiento. Además, el incremento en los volúmenes de agua generados por las poblaciones urbanas ha provocado que los antiguos métodos de disposición (irrigación, infiltración y dilución) resulten poco satisfactorios en calidad, pues la capacidad de la naturaleza se ha visto superada y se han tenido que tomar medidas para mejorar la calidad de las descargas. En este sentido, actualmente se busca no solo el desalajo de las aguas residuales sino su tratamiento previo a la disposición.

El medio de evacuación es generalmente una red de alcantarillado que permite conducir los desechos líquidos a una planta de tratamiento o a los sitios destinados para su disposición. Este tipo de instalaciones, evita que los desechos líquidos se infiltren hacia el subsuelo contaminando los mantos acuíferos y en general disminuye el riesgo de crecimiento focos infecciosos en las inmediaciones de una población, manteniendo condiciones sanitarias y de bienestar mínimas en la población.

El tratamiento de las aguas residuales tiene como objetivo principal la remoción de elementos contaminantes (organismos, materia o energía) para alcanzar la calidad que se requiere para el reuso o la disposición del recurso en algún cuerpo receptor.

2.2 Sistemas de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado está formado por una serie de conductos subterráneos, obras y accesorios, destinados a la colección y transporte de las aguas negras, de lluvia o la mezcla de ambas hacia el punto de disposición final de las mismas. Los objetivos de un sistema de alcantarillado bien planeado (incluyendo una disposición adecuada de las aguas residuales) son: resguardar la salud de la población disminuyendo el riesgo de enfermedades de origen hídrico (fiebre tifoidea, disentería, cólera, etc.), evitar la contaminación del agua subterránea, contribuir a la disminución de fauna nociva y contribuir al bienestar de la población (Babbit, 1983).

2.2.1 Tipos de redes de alcantarillado

Según su función (tipo de agua desalojada), existen tres tipos de redes de alcantarillado: separativas, pluviales y unitarias. En el cuadro 2.8, se describe la clasificación mencionada.

Cuadro 2.8 Clasificación de las redes de alcantarillado.

<i>Tipo de red</i>	<i>Funcionamiento hidráulico</i>	<i>Finalidad</i>
Separativa *	Por gravedad	Se utilizan para la recogida de las aguas residuales de origen doméstico, comercial, industrial e institucional. Es preciso contar con las aportaciones debidas a la infiltración y a caudales no controlados.
	A presión	Se utilizan para la recogida de las aguas residuales de zonas residenciales en que la construcción de una red por gravedad es problemática; asimismo, pueden recoger aguas residuales de origen comercial pero solamente una fracción de las industriales debido a los grandes volúmenes generados por la industria. Estas redes son normalmente pequeñas y su diseño no incluye aportaciones de aguas procedentes de infiltración desde el terreno ni aguas pluviales.
	De vacío	La misma que en redes a presión.

Cuadro 2.8 Clasificación de las redes de alcantarillado (continuación).

Tipo de red	Funcionamiento hidráulico	Finalidad
Aguas pluviales ^b	Por gravedad	Se utilizan para la recogida de aguas pluviales procedentes de calles, tejados y otras fuentes. No incluyen aguas residuales.
Unitaria ^{b, c}	Por gravedad	Se utilizan para la recogida de aguas residuales de origen doméstico e industrial y las aguas pluviales. Asimismo pueden recoger infiltraciones y caudales no controlados. En la actualidad se suelen controlar en EUA.

^a Las redes separativas e conocen también como sanitarias.

^b Las redes a presión y de vacío se utilizan muy raramente para aguas pluviales debido a los grandes caudales de éstas.

^c Las redes unitarias se conocen también como combinadas

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

Los tipos, tamaños y longitudes de las alcantarillas en las redes de alcantarillado dependen de las características de la población y de la ubicación del sitio de disposición. La función de los diversos tipos de alcantarillas se describe en el cuadro 2.9 y su representación esquemática se ilustra en la figura 2.3.

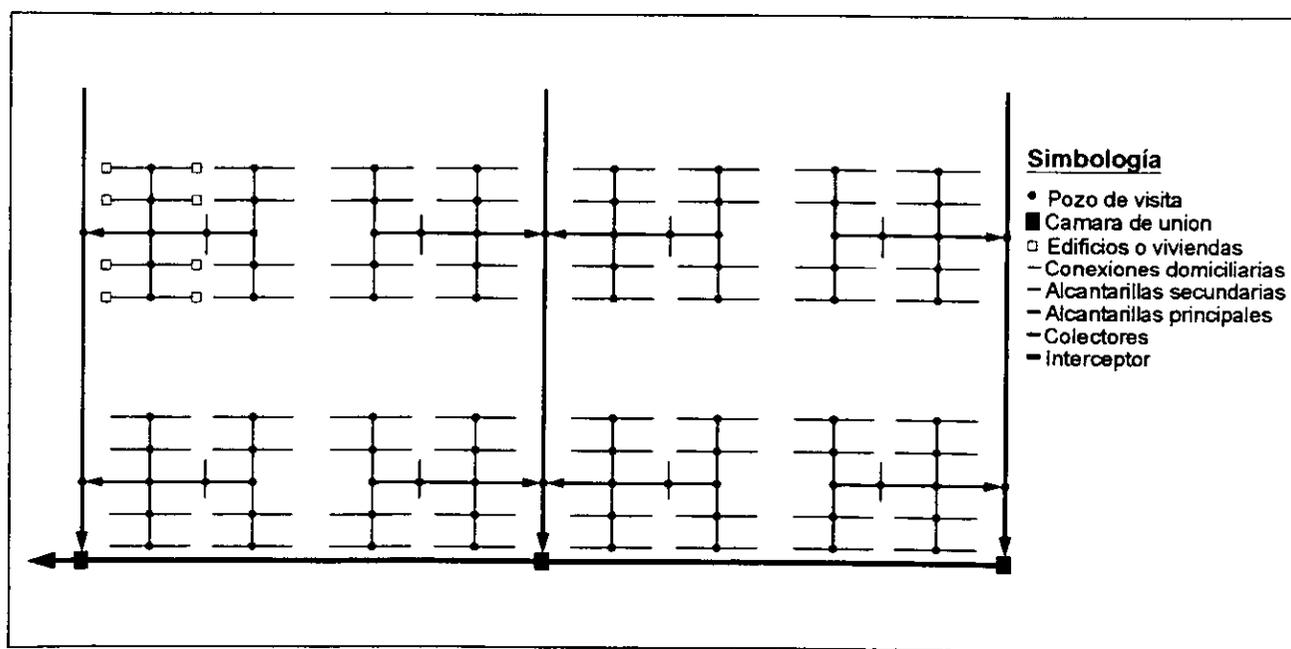


Figura 2.3 Representación esquemática de los diversos tipos de alcantarillas de una red de alcantarillado.

Metcalf y Eddy, 1996

Cuadro 2.9 Tipos de alcantarillas de una red típica de alcantarillado.

Tipo de alcantarilla	Finalidad
Conexión domiciliaria	Las conexiones o acometidas domiciliarias se conectan a la red de desagües de los edificios y su finalidad es transportar las aguas residuales originadas en ellos a las alcantarillas secundarias. Normalmente, se conectan exteriormente al edificio dependiendo de su distancia a los cimientos de las normativas locales.
Secundaria o lateral	Constituyen el primer elemento de la red de alcantarillado y suelen disponerse en las calles o en las zonas especiales de servidumbre (la práctica en México es ubicarlas a la mitad de la calle). Se utilizan para transportar el agua residual procedente de uno o más edificios a las alcantarillas principales.
Principal	Se utilizan para transportar el agua residual procedente de una o varias alcantarillas secundarias a los colectores o interceptores.
Colector	Son alcantarillas de gran tamaño que transportan el agua residual de las alcantarillas principales a la estación depuradora o a grandes interceptores.

Cuadro 2.9 Tipos de alcantarillas de una red típica de alcantarillado (continuación).

Tipo de alcantarilla	Finalidad
Interceptor	Son alcantarillas de gran tamaño que se utilizan para interceptar y recoger el agua residual procedente de uno o varios colectores o alcantarillas principales a la estación depuradora (o al sitio de disposición final). El término interceptor fue originalmente aplicado a una alcantarilla que "recibe el caudal en tiempo seco de un cierto número de alcantarillas transversales y, frecuentemente, un volumen predeterminado de agua de lluvias".

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

El tamaño de las alcantarillas está determinado por el caudal transportado, la pendiente a la cual se colocarán y por las normas locales que establecen el diámetro mínimo permisible. En México las normas vigentes en esta materia son las establecidas por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión Nacional del Agua (CNA).

2.2.2 Proyecto de las alcantarillas sanitarias

El proyecto de una red de alcantarillado implica (Metcalf y Eddy, 1996):

- La estimación de caudales de agua residual y la evaluación de las condiciones locales que puedan influir sobre el funcionamiento hidráulico de la red. En la mayoría de los casos, el caudal total de aguas residuales está formado por tres componentes: agua residual municipal, agua residual industrial e infiltraciones. En consecuencia, las alcantarillas de nueva construcción se deben proyectar con los caudales estimados que se indican a continuación:

Caudal de punta de las aguas residuales de origen doméstico e industrial, cuya estimación se puede estimar para la industria según el tipo de proceso y producción máxima diaria según la capacidad instalada de la planta y para la población afectando al caudal medio estimado con la fórmula de Harmon.

$Q_{MI} = M * Q_{medio}$, donde Q_{MI} es el caudal de punta, Q_{medio} es el caudal medio y M es el coeficiente de Harmon, que se calcula como se muestra a continuación.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

donde:

P = población de la localidad en miles de habitantes.

El caudal medio, se calcula para las aguas residuales municipales con la siguiente expresión:

$$Q_{medio} = \frac{Ap * H}{86400}$$

donde:

Q_{medio} = Caudal medio aportado por habitante en l/s

Ap = Aportación de aguas negras en lt/hab/día, cuando no se tiene un dato preciso, se calcula con un porcentaje de la dotación que generalmente es del 70-90%.

H = Número de habitantes conectados a la red.

Máximo caudal de infiltración en toda la zona, que es función de las condiciones particulares del suelo y la profundidad del nivel freático.

- La selección de la fórmula a utilizar para el dimensionamiento de las alcantarillas

Para flujos por gravedad, la fórmula más utilizada para el dimensionamiento, es la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

donde:

- V = velocidad del flujo, m/s
- S = pendiente de la línea de carga, en flujo uniforme es igual a la del terreno, m/m
- n = coeficiente de rugosidad, depende del material del tubo. Se recomienda 0.0135 para proyecto de tubería de concreto.
- R = Radio hidráulico = Área hidráulica / perímetro mojado, m

Para flujos a presión (conducciones por bombeo), se recomienda la fórmula de Hazen-Williams:

$$V = CR^{0.63} S^{0.54}$$

donde:

- V = velocidad del flujo, m/s
- C = Coeficiente de rugosidad (decrece al aumentar la rugosidad del material)
- S = pendiente de la línea de carga, en flujo uniforme es igual a la del terreno, m/m.
- R = Radio hidráulico = Área hidráulica / perímetro mojado, m.

- Determinar el material y el diámetro mínimo que se emplearán en la construcción de las alcantarillas. Los materiales más utilizados en la construcción de redes de alcantarillado son el fibrocemento, hierro fundido, concreto armado, concreto pretensado, PVC, gres y últimamente el polietileno de alta densidad. Para seleccionar el material adecuado, se deben tomar en cuenta las características de la conducción (por gravedad o a presión), el tipo de agua que se va a conducir y el grado de resistencia a la corrosión del material seleccionado, magnitud de las cargas a que se someterá el tubo durante su vida útil, grado de estanqueidad requerido, diámetros disponibles comercialmente, la disponibilidad del material en el sitio de implantación, el costo, entre otras. En el cuadro 2.10 se describen algunas características de las tuberías disponibles comercialmente.

Cuadro 2.10 Características de las tuberías utilizadas comercialmente en las redes de alcantarillado

Material	Diámetro comercial (mm)	Características
Fibrocemento	100-900	Tiene menor peso que otras tuberías rígidas. Puede ser susceptible a la corrosión por ácidos y al ataque del sulfuro de hidrógeno, pero si el curado ha sido correctamente efectuado al vapor y alta presión (autoclave), puede utilizarse incluso en ambientes moderados de aguas agresivas o suelos con altos contenidos de sulfatos.

Cuadro 2.10 Características de las tuberías utilizadas comercialmente en las redes de alcantarillado (continuación).

Material	Diámetro comercial (mm)	Características
Fierro fundido	100-1,350	Se utiliza frecuentemente en cruces de ríos o cuando la tubería tenga que soportar cargas extremadamente altas (conducciones por bombeo), cuando se requiera un grado elevado de estanqueidad o cuando se prevea que se pueden producir graves problemas debido a las raíces de los árboles. Son sensibles a la corrosión por ácidos y al ataque del sulfuro de hidrógeno y, en consecuencia, no deben emplearse en suelos salobres a menos que se les procure atención adecuada.
Concreto armado	300-3,600	Fácil de conseguir. Susceptible a la corrosión interna si la atmósfera por encima del agua residual contiene sulfuro de hidrógeno, o a la corrosión externa si el suelo es ácido o con alto contenido de sulfatos.
Concreto pretensado	400-3,600	Especialmente adecuado para alcantarillas principales de gran longitud carentes de conexiones domiciliarias y cuando se requiera buena estanqueidad. Susceptible a la corrosión (igual que el concreto armado).
Gres	100-900	Durante muchos años ha sido el material más utilizado en redes de alcantarillado y todavía lo es para las alcantarillas de pequeño y medio tamaño. Resistente a la corrosión por ácidos y álcalis. No es atacada por el sulfuro de hidrógeno pero es frágil y se rompe fácilmente.
Cloruro de polivinilo (PVC)	100-375	Es una alternativa a las tuberías de fibrocemento y de gres. Muy ligera pero robusta. Muy resistente a la corrosión.
Polietileno de alta densidad (HDP)	100-600	Es resistente a la corrosión, muy dúctil y de fácil instalación. Actualmente ha ido desplazando al fierro fundido en instalaciones sometidas a conducción por bombeo.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1996

- La adopción de un tamaño mínimo de conducto es necesaria para evitar la obstrucción del tubo por objetos que puedan introducirse a la red, en este sentido es ampliamente aceptada la práctica de adoptar 200 mm como diámetro mínimo, aunque evidentemente, la alcantarilla más pequeña debe ser mayor o igual que los albañales de conexión a los edificios.
- Determinar las velocidades y pendientes permisibles. El intervalo de la velocidad permisible se establece por un lado para evitar velocidades que favorezcan el sedimento y depósito de las partículas flotantes; y por el otro, para evitar velocidades erosivas. Las velocidades permisibles dependen de la condición a la cual trabaja el tubo. En el cuadro 2.11 se muestran las velocidades permitidas en México.

Cuadro 2.11 Velocidades para el flujo del agua en sistemas de alcantarillado permitidas en México.

Condición	Velocidad de diseño (m/s)		Observaciones
	máxima	mínima	
Casos normales	3.00	-	La sección debe revisarse a gasto mínimo con tubo lleno.
	-	0.60	La sección debe revisarse a gasto máximo con tubo lleno.
Casos excepcionales*	3.00	0.30	La sección se revisará con el gasto mínimo, debiéndose asegurar un tirante mínimo de 1.5 cm y una velocidad mayor a 0.30 m/s en el tubo cuando el terreno tenga poca pendiente; y un tirante mayor a 1.0 cm con velocidades menores a 3.00 m/s en terrenos cuyas pendientes naturales sean muy grandes (mayores a 2%)
	3.00	-	La sección se revisará con el gasto máximo a tubo lleno, aceptándose la solución para tubo parcialmente lleno siempre que no se rebase la velocidad máxima.

* Casos extremos en los cuales la pendiente natural del terreno es muy plana o muy inclinada de manera que al proyectarse la red se buscan condiciones que disminuyan la cantidad de excavación en el primer caso o la construcción de estructuras adicionales para amortiguar las caídas del flujo en el segundo.

Adaptado de las Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario, 1993

- Las pendientes de los tubos deben ser lo más parecidas a la pendiente natural del terreno con el objeto de minimizar los volúmenes de excavación, con la única restricción de permitir que el flujo cumpla con las velocidades máximas y mínimas permisibles.
- La evaluación de trazos alternativos. Cuando en un proyecto existe más de una solución, es necesario realizar un anteproyecto para cada solución de manera que la solución escogida sea la más recomendable en términos de costos tanto económicos como sociales.
- La evaluación del empleo de alcantarillas con trazos curvos. Tradicionalmente, las alcantarillas se disponen en tramos rectos con el fin de facilitar su limpieza y mantenimiento, así como para mantener las características deseadas del flujo. No obstante, el trazado curvo en tramos de la red en los cuales las calles tienen trazos igualmente curvos, permite la construcción sin salirse de la zona de dominio público, menos interferencias con otros servicios, reducir el número de pozos de registro en la zona, y, posiblemente dar un mejor servicio a todos los edificios de la zona.
- La selección de instalaciones complementarias adecuadas. Las principales instalaciones complementarias de las redes de alcantarillado sanitarias son los pozos de registro, pozos con caída incorporada, acometidas para desagüe de edificios y cámaras de conexión. Algunas consideraciones para diseño de pozos de registro se dan a continuación, para mayor información respecto a las demás instalaciones, se remite al lector a las referencias 2 y 3 de este capítulo.
- En las alcantarillas de diámetro menor o igual a 1,200 mm, los pozos de registro deberán situarse en los puntos en los que se produzcan cambios de sección, pendiente o dirección. En alcantarillas de mayor tamaño, dichos cambios pueden realizarse sin necesidad de construir un pozo de registro. Siempre que sea posible se evitarán las caídas verticales en la corriente de agua residual para reducir al mínimo las salpicaduras. Cuando sean necesarias, se deberán hacer pozos de caída u otros medios para conducir las aguas residuales a la cota inferior. En tales puntos, las estructuras de concreto deberán estar cubiertas de ladrillos de gres u otro recubrimiento resistente a la abrasión para evitar su deterioro. El número de registros debe ser suficiente para que las alcantarillas puedan ser inspeccionadas y mantenidas con facilidad.
- El estudio de la posible necesidad de ventilación de la red. La necesidad de ventilación de las alcantarillas reside en el peligro de asfixia de los operadores de la red, la posibilidad de que se produzcan explosiones y el desprendimiento de malos olores, debido a la existencia de gases tóxicos y flamables que se generan por la descomposición anaerobia de los componentes de las aguas residuales.

2.3 Tratamiento de las aguas residuales

El objetivo del tratamiento de las aguas es la remoción de los contaminantes que pongan en peligro el equilibrio natural del sitio de disposición o rebasen los límites establecidos para su disposición o reuso. Esto implica 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.

2.3.1 Operaciones unitarias y niveles de tratamiento

Los diversos tratamientos del agua pueden clasificarse de acuerdo a:

- La calidad del efluente obtenido en el proceso u operación, denominado nivel de tratamiento, o
- por las características propias del tratamiento, es decir, el tipo de operaciones (físicas, químicas y/o biológicas) que se realizan para la remoción de contaminantes.

Los niveles de tratamiento que se le pueden proporcionar al agua residual se clasifican comúnmente en:

- a) *Tratamiento primario*. Se emplea para la eliminación de una fracción sólidos en suspensión y los materiales de flotantes, generalmente realizada por procesos físicos o fisicoquímicos.
- b) *Tratamiento secundario*. Comprende los tratamientos biológicos secundarios. Los procesos biológicos emplean reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales, normalmente orgánicas. Los procesos biológicos aerobios incluyen filtrado biológico y los lodos activados. Los procesos de oxidación anaerobia se usan para la estabilización de lodos orgánicos y desechos líquidos de alta concentración.
- c) *Tratamiento terciario*. A este nivel de tratamiento se emplean procesos químicos (coagulación, precipitación, intercambio iónico) dependiendo de las propiedades químicas de la impureza. Cuando se requiere de reuso o el control de la eutroficación del cuerpo receptor, se usa este nivel de tratamiento. Para alcanzar este nivel de tratamiento normalmente se tienen presentes los tres tipos de operaciones y procesos unitarios.

El nivel de tratamiento requerido por un proyecto específico de aguas residuales dependerá de las características iniciales del agua a tratar, así como de dependiendo de la calidad del agua requerida al final del proceso.

Los contaminantes del agua residual pueden ser removidos mediante procesos físicos, químicos o biológicos unitarios. Dichos procesos se utilizan combinados en los sistemas de tratamiento, para cumplir los objetivos de la depuración del agua. Los principales procesos unitarios son:

- a) *Operaciones físicas unitarias*. Son aquéllas que se llevan a cabo a través de la aplicación de fuerzas físicas como la gravedad o centrifugación.
- b) *Procesos químicos unitarios*. Operaciones que se realizan mediante la adición de productos químicos que provocan diferentes reacciones químicas que facilitan la remoción o tratamiento de los contaminantes.
- c) *Procesos biológicos unitarios*. Los métodos de tratamiento en los cuales se involucra la actividad de microorganismos para la remoción y/o transformación de los contaminantes.

El cuadro 2.12 presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 2.12 Niveles de tratamiento del agua residual y operaciones involucradas.

Nivel de tratamiento.	Procesos u operaciones unitarias involucradas.
Tratamiento primario	Cribado Sedimentación Flotación Precipitación y coagulación Separación de grasas Homogeneización Neutralización
Tratamiento secundario	Lodos activados Aireación prolongada (procesos de oxidación total) Filtros biológicos Discos biológicos Lagunas de estabilización Tratamientos anaerobios : procesos de contacto, filtros (sumergidos)
Tratamiento terciario o avanzado	Microtamizado Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas) Adsorción (carbón activado) Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodialisis Cloración y ozonización Procesos de remoción de nutrientes Otros

Adaptado del Ramalho, 1991

2.3.2 Recomendaciones para la selección de un sistema de tratamiento

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. Con la variedad de métodos existentes actualmente es posible una gran diversidad de combinaciones que proporcionen un tren de tratamiento; sin embargo se debe cuidar siempre que el efluente cumpla con los requerimientos de calidad establecidos con el menor costo global posible (implantación y operación).

El tipo de tratamiento que se va a utilizar para la depuración del agua se escoge en función del tipo de contaminantes que contiene y la calidad requerida. El cuadro 2.13 muestra el tipo de procesos utilizados en función del tipo de contaminante que se removerá.

Cuadro 2.13 Operaciones, procesos y sistemas de tratamiento utilizados para la remoción de los principales contaminantes presentes en el agua residual municipal.

Grupo de contaminantes	Operación Unitaria de Tratamiento	Clasificación
Sólidos suspendidos y sedimentables	Cribado y desmenuzado	F
	Sedimentación	F
	Flotación	F
	Filtración	F
	Coagulación/sedimentación	F/Q

Cuadro 2.13 Operaciones, procesos y sistemas de tratamiento utilizados para la remoción de los principales contaminantes presentes en el agua residual municipal (continuación).

Grupo de contaminantes	Operación Unitaria de Tratamiento	Clasificación
Orgánicos y biodegradables	<i>Procesos aerobios</i>	
	Lodos activados	B
	Filtro percolador	B
	Discos biológicos rotatorios	B
	<i>Procesos anaerobios</i>	
	Fosa séptica	B
Filtro anaerobio	B	
	Reactor lecho de lodos con flujo ascendente	B
Patógenos	Desinfección con :	
	Cloro	Q
	Hipoclorito de calcio	Q
	Hipoclorito de sodio	Q
	Ozonación	Q
	Luz ultravioleta	Q
Nutrientes :	<i>Nitrógeno</i>	
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
	Intercambio iónico	B
	<i>Fósforo</i>	
	Coagulación/sedimentación con sales metálicas	F/Q
Coagulación/sedimentación con cal	F/Q	
	Remoción biológica	B
Orgánicos refractarios*	Adsorción con carbón activado	F
	Ozonación	Q
Metales pesados*	Precipitación química	Q
	Intercambio iónico	Q
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico	Q
	Ósmosis inversa	F
	Electrodialisis	Q

* Pocas veces encontrados en aguas residuales domésticas

F = Físico ; Q = Químico ; B = Biológico.

Adaptado de Sámano, 1993

Además de la calidad del agua por tratar, se deben considerar otros aspectos técnicos y económicos para decidir que tipo de proceso. En cuanto a aspectos técnicos podemos mencionar la factibilidad para la disposición de los lodos generados por el tratamiento, la disponibilidad de terreno para la construcción de la planta (a veces procesos más baratos operativamente requieren de áreas mayores para su implantación), clima, etc. Aspectos económicos importantes son la forma de financiamiento de la obra, un análisis de costos entre construcción y operación del sistema, además de otras. Schulz (1990) recomienda que se consideren:

- Resistencia del sistema al tipo de agua a tratar y a variaciones estacionales u horarias en la cantidad y calidad del agua.
- Simplicidad de operación y accesabilidad.
- Confiabilidad y sin molestias para el usuario.
- Costos de operación.
- Fáciles de transportar e instalar con un trabajo mínimo de construcción en el sitio de ubicación.
- Posibilidad de aprovechar estructuras existentes (si las hay).

- Condiciones climáticas.
- Personal requerido para la operación.
- Dimensiones de la planta.

Formas para el tratamiento de las aguas residuales

A pesar de que existen diversos métodos para depurar las aguas residuales, los métodos de tratamiento de agua residual incluyen:

- Tratamiento preliminar.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Desinfección.
- Tratamiento de lodos.
- Tratamiento avanzado.

2.3.3 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. En este sentido, los dispositivos de tratamiento preliminar se diseñan para separar cantidades excesivas de grasas y aceites y sólidos inorgánicos pesados (arena, grava); así como para separar o disminuir el tamaño de sólidos orgánicos flotantes o suspendidos.

Los dispositivos más empleados en el tratamiento preliminar son: rejas y cribas de barras, cribas finas, desmenuzadores, medidores de gasto, desarenadores, tanque de homogeneización y regulación de caudales, tanques de preaireación y distribuidor de gasto; los cuales se describen en el cuadro 2.14.

Cuadro 2.14 Dispositivos empleados en el tratamiento preliminar de las aguas residuales.

Dispositivo	Descripción
Rejas y cribas de barras	Son cernidores compuestos de barras paralelas, colocadas verticalmente o inclinadas en dirección del flujo, que captan los sólidos flotantes de mayor tamaño para proteger conducciones, válvulas y bombas. Las rejillas pueden ser fijas o móviles y de limpieza manual o mecánica.
Cribas finas	Son rejas con aberturas de hasta 3 mm (1/8") que sirven para separar sólidos de menor tamaño que los retenidos por las rejas y cribas de barras. Generalmente se usan en el tratamiento de aguas industriales y se clasifican en cribas de banda, de disco y de tambor. Su limpieza se efectúa mediante chorros de agua a presión, vapor o con un agente desengrasador.
Desmenuzadores	Son dispositivos que se emplean para triturar a los sólidos de modo de que puedan ser reintegrados a las aguas por tratar sin peligro de afectar el funcionamiento de los sistemas y mecanismos de tratamiento posteriores. Ejemplos de estos dispositivos son los molinos, cortadoras y trituradoras. Su colocación se recomienda después de desarenadores para alargar su vida.
Medidores de gasto	Son dispositivos que permiten medir la cantidad de agua que circula a través de ellos. En instalaciones de tratamiento son fundamentales, ya que permiten llevar un control y seguimiento de los procesos e informar los caudales generados. En general estos dispositivos su fundamentan en principios hidráulicos como la ecuación de continuidad y la ecuación de la energía. Los dispositivos más utilizados para medir el flujo son: <ul style="list-style-type: none"> • El medidor Parshall en canales. • En conducciones cerradas: tubos de pitot, rotámetros, venturis, medidores magnéticos, ultrasónicos y quílmicos, dispositivos de vórtice y medidores de turbina o hélice.

Cuadro 2.14 Dispositivos empleados en el tratamiento preliminar de las aguas residuales (continuación).

Dispositivo	Descripción
Desarenadores	Son cámaras de sedimentación que se utilizan para eliminar los sólidos inorgánicos gruesos y la materia orgánica pesada que puede dañar los dispositivos mecánicos del tratamiento o afectar las etapas posteriores del tratamiento. El tipo de desarenador más común es el de flujo horizontal, su funcionamiento consiste en disminuir la velocidad de flujo para que los sólidos se depositen. Su limpieza puede ser manual o mecánica y en general, las arenas removidas se eliminan por incineración o relleno en el terreno. Otros tipos de desarenadores son los de vórtice y el aireado.
Tanque de homogeneización y regulación de caudales.	La homogeneización consiste en regular las variaciones de gasto mediante su almacenamiento de manera que la planta opere con un caudal constante y con concentraciones de contaminantes similares. Para evitar que las aguas residuales adquieran condiciones 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 exceso.
Tanques de preaireación	Antes del tratamiento primario, se realiza una aireación 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 a las aguas residuales. La preaireación se logra forzando el paso de aire comprimido o por agitación mecánica.
Distribuidor de gasto	Se emplea para dividir el caudal de acuerdo a la capacidad requerida por las unidades de tratamiento posteriores, o para separar el caudal en exceso. Los dispositivos más empleados son las cajas de distribución y los vertedores de caída libre.

Fuente: Adaptado de Campos, 1998

2.3.4 Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene la finalidad de eliminar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos por medio de sedimentación o tamizado. Algunas unidades de tratamiento primario son: Fosa séptica, tanque de doble acción o tanque Imhoff, tanque de sedimentación simple, tamices, flotación, tanque de precipitación química, tanques de floculación, mezcladores. Las unidades de tratamiento primario utilizadas más comunmente son:

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 resultado del proceso, el efluente tiene condiciones sépticas, por lo que es necesario que se desaloje hacia pozos de absorción o en campos de percolación. Este proceso requiere muy poca atención, bastando remover los lodos y las natas ocasionalmente.

Tanque Imhoff. El principio es el mismo que el de la fosa séptica, pero evita la mezcla de agua y lodo, 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. Consta de dos cámaras y durante su operación el agua fluye por la parte superior, mientras que los sólidos son separados a la cámara inferior en donde se realiza la digestión anaerobia de los lodos para su posterior eliminación por tuberías.

Tanque de sedimentación primaria. En estos tanques se separan los sólidos suspendidos en el agua residual mediante sedimentación y los concentran en un volumen menor; además remueven grasas, aceites y materiales flotantes. Los sólidos se acumulan por gravedad o con equipo mecánico (rastras) en una tolva para después ser extraídos por bombeo, evitando su descomposición en el tanque. Los tanques pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados.

Flotación. Se emplea para la separación de partículas pequeñas con densidad cercana a la del agua. La separación se logra mediante la introducción de partículas finas de gas, normalmente aire, en la

fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza que experimentan el conjunto partícula - burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido en donde las partículas pueden recogerse mediante un rascado superficial.

Tanque de precipitación química. Consiste en agregar reactivos a las aguas residuales para formar flocúlos que se sedimenten rápidamente. Esta operación es útil en tratamientos especializados. Esta operación es útil en tratamientos especializados como la eliminación de fósforo y trazas de metal, y preparación de lodos para filtración o deshidratación.

Tanque de floculación. Se utiliza para acelerar el proceso de sedimentación, mediante la formación de flocúlos o aglomeraciones de partículas. Los flocúlos se forman dentro del tanque la agitación mecánica de las aguas residuales que favorece el mezclado.

Mezcladores. Se emplean para incorporar líquidos o gases al agua residual, en la transferencia de calor y durante la floculación. Su propósito puede ser mantener homogéneo el contenido de contaminantes presentes en el agua residual (mezclado continuo), o incorporar flocúlos que tengan un propósito específico dentro del tratamiento al agua residual.

2.3.5 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario busca eliminar los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica por medio de la combinación de diversas operaciones y procesos principalmente de tipo biológico.

Los procesos de tipo biológico se emplean cuando los contaminantes principales de naturaleza orgánica biodegradable. La razón de preferir este tipo de sistemas de tratamiento sobre los de tipo fisicoquímico es que los segundos tienen un mayor costo de operación debido a la necesidad de agregar sustancias como catalizadores o retardantes para la remoción de otras partículas y las sustancias incorporadas generan la disolución de otras partículas más pequeñas que son difícilmente removibles con tratamientos convencionales. Este tipo de sistema de tratamiento es el más usado en la depuración del agua residual doméstica y sólo se emplea un tratamiento químico complementario (desinfección) a la salida de la planta para la eliminación de patógenos.

Por la cantidad de oxígeno presente en el proceso de transformación de la materia orgánica, existen tres formas de tratamiento biológico: *procesos aerobios*, con presencia de oxígeno; *procesos anaerobios*, que suceden en ausencia de oxígeno; y *procesos facultativos*, en los cuales los organismos transformadores pueden vivir en presencia o ausencia de oxígeno. Otro proceso es el denominado *anóxico* en el que las reacciones están encaminadas a la desnitrificación anaerobia.

A su vez, estos procesos se subdividen por la forma en que los microorganismos crecen dentro de las instalaciones de tratamiento en: *sistemas de biomasa fija*, en los que los microorganismos crecen sobre una superficie sólida; y *sistemas en suspensión*, en los que el crecimiento de los microorganismos se realiza dentro de la masa líquida del reactor. Aunque en general los procesos biológicos funcionan gracias a la acción de microorganismos que se alimentan de la materia orgánica presente en el agua residual de la que obtienen los nutrientes necesarios para su desarrollo, la cantidad de oxígeno presente en el agua permite el crecimiento de diferentes especies que a su vez requieren de diferentes tipos específicos de nutrientes para su alimentación permitiendo con ello la

selección de un proceso distintos para la eliminación de nutrientes específicos. A continuación se presenta una clasificación de los principales reactores biológicos para el tratamiento de las aguas residuales.

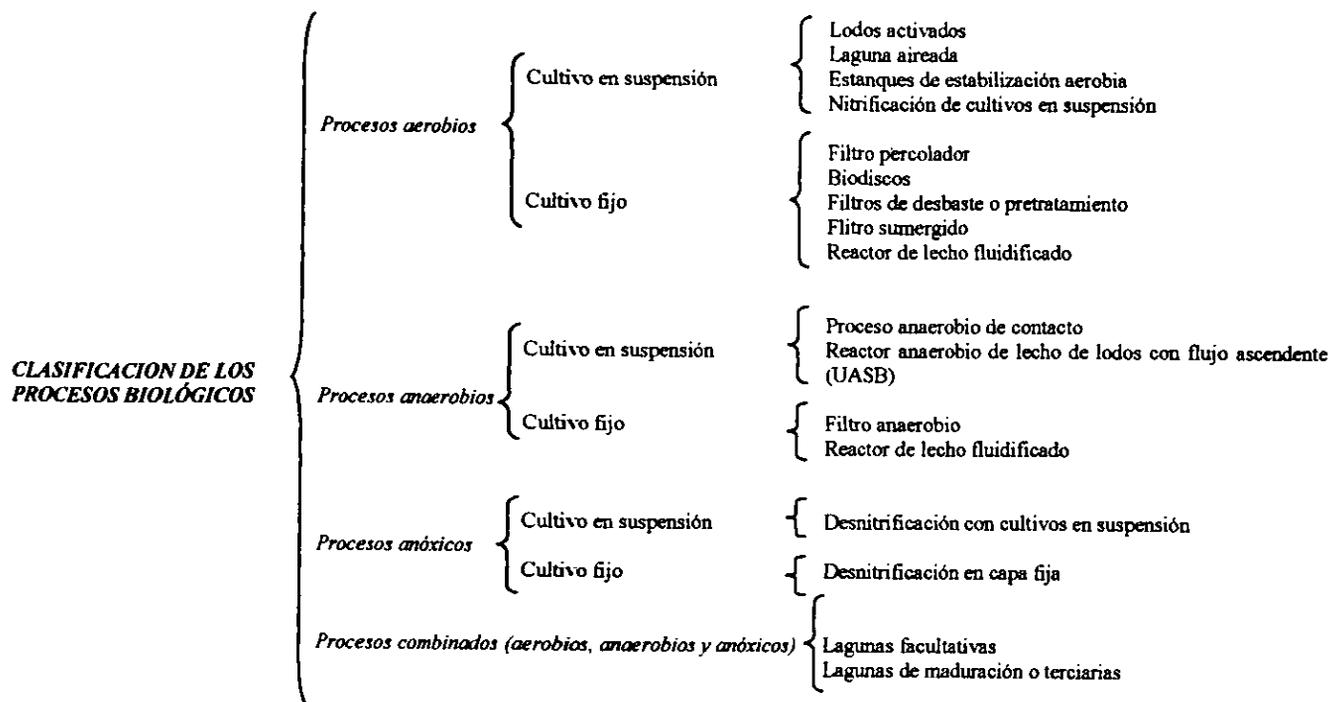


Figura 2.4 Clasificación de los procesos de tratamiento biológicos.

Los procesos de tratamiento biológico más empleados en México son: lodos activados, lagunas de estabilización aerobia, filtro percolador, laguna aireada aerobia, biodiscos, reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente, proceso anaerobio de contacto, lagunas anaerobias y lagunas facultativas. En el cuadro 2.15 se describen las características principales de cada uno de ellos.

Cuadro 2.15 Principales procesos de tratamiento biológico secundario.

Proceso	Descripción
Lodos activados	<p>Consiste en un tanque de aireación que contiene el cultivo bacteriano en suspensión mezclado con materia orgánica y con aire que es introducido por medio de aireadores mecánicos o difusores. La aireación proporciona al sistema condiciones aerobias, y la velocidad de flujo necesaria para mantener a los sólidos en suspensión.</p> <p>La combinación de nutrientes y microorganismos es conocida como lodo activado dentro del tanque de aireación, y cuando está asociado con agua dentro del reactor, se le llama "licor mezclado". Después de permanecer cierto tiempo en el tanque de aireación el licor mezclado fluye a un clarificador en donde el lodo se deposita para producir un efluente con bajo contenido de DBO y sólidos suspendidos. Dentro del proceso, una porción del lodo es regresada al tanque de aireación para mantener una relación adecuada de alimento/microorganismos (F/M) y permitir una adecuada degradación de la materia orgánica. El resto del lodo se extrae del sistema para mantener una concentración constante en el tanque.</p> <p>Aunque el principio es el mismo, existen muchas variantes del proceso. Las variantes más utilizadas en la actualidad son: flujo pistón, completamente mezclado, aireación extendida, estabilización por contacto, sistema de oxígeno puro, zanjas de oxidación, reactor secuencial y proceso de Kraus.</p>
Laguna aireada aerobia	<p>Este proceso es similar al de lodos activados, excepto que el reactor es un depósito excavado en el terreno y que en la superficie de las lagunas se dan efectos térmicos más marcados, debido a su poca profundidad. En este tipo de reactores es posible realizar una nitrificación estacional o continua.</p>
Lagunas de estabilización aerobia	<p>Son grandes depósitos de poca profundidad excavados en el terreno natural, en los que el tratamiento depende de algas y bacterias. El oxígeno es proporcionado principalmente por aireación superficial y en menor grado por los procesos fotosintéticos de las algas, y es utilizado por las bacterias para la degradación de la materia orgánica que a su vez proporcionan a las algas nutrientes y dióxido de carbono.</p>

Cuadro 2.15 Principales procesos de tratamiento biológico secundario (continuación).

Proceso	Descripción
Filtros percoladores	Son tanques que contienen un lecho formado por un medio permeable en el que se encuentran adheridos 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, lo que provoca un desprendimiento cíclico de la capa biológica. Una vez que el agua ha pasado por el lecho filtrante es colectada en la parte inferior del tanque y conducida a un clarificador secundario, en el que se deposita el lodo generado en el proceso.
Biodiscos	Este proceso se emplea ya sea para obtener nitrificación estacional o continua o bien como tratamiento secundario. Consiste en un tanque sobre el cual giran ejes en los que se encuentran dispuestos una serie de discos circulares de material plástico a los que se adhieren los microorganismos. Los discos se encuentran parcialmente sumergidos en el líquido y giran de manera que la biomasa se encuentra alternativamente en contacto con el agua residual y con la atmósfera, lo que le permite aprovechar el oxígeno atmosférico para la degradación de la materia orgánica. La rotación permite además la eliminación del exceso de los sólidos adheridos a los discos y mantienen la materia del agua en suspensión (debido a la agitación producida), de manera que esta puede ser transportada a un clarificador secundario en donde se remueven los sólidos remanentes.
Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)	Es un tanque en el cual el agua residual entra por la parte inferior y sale por la parte superior. Durante su trayecto la materia orgánica del agua residual es transformada por fermentación en metano (CH ₄) y ácido sulfídrico (H ₂ S); dentro del reactor, el metano es recogido por un colector que ayuda a la sedimentación de los lodos formados. Dentro del reactor se forman tres zonas: <i>lecho de lodo</i> , es la zona inferior en ella el lodo se encuentra muy concentrado; <i>manta de lodo</i> , es la zona intermedia en la que el lodo es menos denso que en la parte inferior; la zona superior del reactor es una zona de baja turbulencia debido a la pantalla creada por el colector de biogás y en ella se sedimenta la mayor parte del lodo en suspensión. Las principales ventajas del reactor con respecto a otros sistemas anaerobios son: 1. Bajo costo de inversión debido a los pequeños volúmenes requeridos (la carga superficial soportada es muy alta). 2. El tamaño total requerido por el sistema es pequeño ya que tanto el proceso de tratamiento (fermentación) como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque. 3. Bajos costos de operación, ya que no requieren de agitación mecánica ni insumos químicos, además el lodo generado es altamente estable por lo que los costos de su tratamiento son menores. 4. Alta resistencia del sistema a la presencia de sustancias tóxicas y a fluctuaciones de carga.
Proceso anaerobio de contacto	Este tratamiento se emplea básicamente en la depuración de aguas residuales con alto contenido de DBO y sólidos suspendidos volátiles. Consiste en un reactor sellado que impide la entrada de aire al sistema, el agua a tratar entra junto con los lodos recirculados y posteriormente se mezcla el contenido del reactor y pasa a un clarificador en el que se separan nuevamente los lodos.
Lagunas anaerobias	Este proceso logra eliminar de un 75 a un 80 % de la DBO. Está constituido por un estanque profundo excavado en el terreno y dotado de conducciones para la entrada y salida del flujo. El tratamiento es anaerobio excepto en una estrecha franja de la superficie en donde el intercambio de gases con la atmósfera permite la entrada de oxígeno al sistema. La estabilización del agua se consigue por precipitación y conversión anaerobia de los residuos orgánicos en biogás (metano, dióxido de carbono, etc.), y en ácidos orgánicos y tejidos celulares. Los sólidos se sedimentan en el fondo del estanque y el efluente parcialmente clarificado es conducido a un tratamiento posterior.
Lagunas facultativas	Son tanques excavados en el terreno, en los que para la estabilización de la materia orgánica presente es degradada por la acción de microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos; dentro de los tanques se distinguen tres zonas: <i>superficial</i> , compuesta por bacterias aerobias y algas en relación simbiótica (ver lagunas de estabilización aerobia); <i>intermedia</i> , es parcialmente aerobia y anaerobia, en ella las bacterias facultativas realizan la descomposición de la materia orgánica; <i>inferior</i> , en la cual los sólidos acumulados son descompuestos por las bacterias anaerobias.

Adaptado de Metcal y Eddy, 1996 y Noyola, 1998

2.3.6 Desinfección

La desinfección consiste en eliminar del agua tratada a los organismos patógenos con la finalidad de evitar la propagación de enfermedades infectocontagiosas. Se realiza mediante la adición de sustancias químicas, medios físicos. Las desinfectantes químicos más difundidos son: el cloro y sus compuestos, el yodo, bromo y ozono. La desinfección física se logra por filtración, adición de luz y calor; y mediante exposición del agua radiaciones beta y gamma.

En la actualidad la mayor parte de las aguas tratadas es desinfectada por cloración debido principalmente a la alta eficiencia de este elemento para eliminar a los microorganismos presentes en el agua y a su bajo costo. Además de la desinfección el cloro ayuda durante los procesos de tratamiento para reducir la producción de olores, evitar la formación de espumas y proteger a las estructuras de la planta; pero tienen el inconveniente de formar compuestos orgánicos volátiles con la materia orgánica contenida en el agua residual si no se emplean de manera correcta.

2.3.7 Tratamiento de lodos

Los lodos están constituidos por agua y sólidos constituidos principalmente por materia de naturaleza orgánica y la biomasa en exceso producida durante los procesos biológicos y están sujetos a un proceso de descomposición muy intenso que los puede hacer indeseables. Esto hace necesario someterlos a un tratamiento previo a su disposición para que no pongan en riesgo la salud o causen molestias en la población (olor principalmente); además de reducir su volumen y estabilizar la materia orgánica putrescible.

La estabilización requerida por los lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales depende de la constitución de los mismos, que está directamente relacionada con la naturaleza de las aguas residuales tratadas y del tipo de proceso utilizado para la depuración. En el *cuadro 2.16* se presentan las características de los lodos generados durante el tratamiento.

Cuadro 2.16 Características de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales según su origen.

<i>Procedencia del lodo</i>	<i>Características</i>
<i>Residuos de rejas y cribas</i>	Incluyen materiales orgánicos e inorgánicos de gran tamaño. Generalmente es materia putrescible y desagradable. El contenido de materia orgánica depende de la funcionamiento del sistema. Puede eliminarse por quema, entierro y molido con transferencia a un digestor de lodo.
<i>Desarenador</i>	El lodo procedente del desarenador, está constituido por sólidos inorgánicos pesados que se sedimentan a velocidades relativamente grandes (principalmente arena). Dependiendo del funcionamiento del sistema, la arena puede contener cantidades significativas de materia orgánica.
<i>Espumas y grasas</i>	Formado por materiales flotantes recogidos en la superficie de los tanques de sedimentación (grasas, aceites, papel, algodón, plásticos, etc.). Generalmente el 90% del contenido es agua.
<i>Lodo primario</i>	Proviene de los tanques de tratamiento primario, es de color gris, grasiento, putrescible y de olor fuerte. El contenido de humedad de este lodo es del 93% aproximadamente.
<i>Lodo activado</i>	Proviene de la biomasa en exceso del proceso de lodos activados. Tiene una apariencia floculenta de color marrón, parcialmente descompuesto. Tiene un olor a tierra mojada cuando está fresco, pero adquiere condiciones sépticas rápidamente. El contenido de humedad es del 98%.
<i>Lodo de precipitación química</i>	Proviene de los tanques de precipitación química. Color oscuro, olor molesto y consistencia gelatinosa. Contenido de humedad del 95%.
<i>Lodo de filtro percolador</i>	Es de color pardo, floculento, relativamente inodoro y parcialmente descompuesto. Contenido de humedad del 93%.
<i>Lodo digerido</i>	Es de color oscuro y textura homogénea. Cuando está húmedo tiene olor a alquitrán. Contenido de humedad del 90%.

Adaptado de Metcalf y Eddy, 1998

De manera análoga al agua residual, existen diversos niveles de tratamiento para los lodos y diversas formas de lograr su estabilización. Las operaciones básicas para el tratamiento de los lodos son pretratamiento, espesamiento, acondicionamiento, deshidratación, secado, reducción térmica, estabilización y desinfección. De manera general se puede decir que el pretratamiento busca lograr la homogeneización de la calidad y cantidad de los lodos; los procesos de espesamiento, acondicionamiento, deshidratación, secado y reducción térmica buscan eliminar la humedad del lodo; y la estabilización y desinfección buscan reducir la cantidad de para modificar sus propiedades y simplificar su disposición final. Los principales métodos para el tratamiento de los lodos se resumen en el *cuadro 2.17*.

Cuadro 2.17 Métodos para la estabilización y manejo de los lodos.

Método de tratamiento	Objetivo
Operaciones de pretratamiento Trituración Mezclado Almacenamiento Desarenado	Homogeneización de la cantidad y calidad de los lodos por tratar. Reducción del tamaño de los sólidos contenidos en el lodo. Combinación del lodo para lograr un producto con características uniformes. Absorber las variaciones del lodo producido para exportar a las siguientes operaciones cantidades constantes. Remoción de arenas.
Espesamiento Por gravedad Flotación Centrifugación Con banda Tambor giratorio	Reducir el volumen del lodo por tratar mediante la remoción de agua. Reducción del volumen por sedimentación y compactación del lodo. Disminución del volumen por flotación de los sólidos al inyectarse aire en el lodo (ver tratamiento secundario). Espesamiento de los lodos. Escurrimiento del agua al pasar los lodos por una banda móvil de material permeable. Separación de sólidos floculados con polímeros.
Estabilización Adición de cal Tratamiento térmico Digestión anaerobia Digestión aerobia Composteo	Esterilización de los lodos para reducir la cantidad de microorganismos presentes, producción de olores y reducir riesgos de salud. La cal aumenta el pH del lodo provocando la muerte de los microorganismos presentes (la mayoría de los microorganismos necesitan un rango de pH de 6 a 8). Calentamiento de los lodos para su esterilización. Consiste en someter a los lodos a condiciones anaerobias de digestión para minimizar la cantidad de nutrientes existentes en él, de que disminuya la cantidad de microorganismos presentes. Degradación de la materia orgánica remanente por procesos aerobios. Esterilización de los lodos mediante la formación de compostas que producen la muerte de los microorganismos al aislarlos durante tiempos prolongados.
Acondicionamiento Químico Tratamiento térmico Elutriación	Consiste en separar las fases sólida y líquida de los lodos agregando sustancias químicas o calor. Aplicación de agentes coagulantes para facilitar la deshidratación del agua residual Pretratamiento para la digestión. Reducir el requerimiento.
Desinfección Pasteurización Almacenamiento prolongado	Eliminación de los microorganismos patógenos presentes en los lodos. Calentamiento de los lodos (75-85 °C) para destruir a los microorganismos. Destrucción de los microorganismos debido a aislamiento durante periodos mayores a su tiempo de vida medio.
Deshidratación Filtro al vacío Filtro prensa Filtro de banda horizontal Centrifugación Lechos de secado Lagunas	Reducción del contenido de humedad del lodo. Eliminación de agua mediante la acción de un tambor giratorio parcialmente sumergido en el lodo. Eliminación del agua en cámaras revestidas con fieltro y sujetas a presión. Compresión del lodo con rodillos y drenaje por gravedad. Eliminación del lodo mediante mecanismos giratorios que permiten la separación por centrifugación de agua y sólidos. Eliminación del agua mediante la disposición del lodo en lechos poco profundos y de fondo poroso Evaporación del agua por calentamiento con los rayos solares, al depositar los lodos en lagunas.
Secado térmico Evaporación efecto múltiple Secado instantáneo Secado por pulverización Secado en horno giratorio Secador de hogares múltiples	Evaporación del agua contenida en los lodos mediante el calentamiento de los mismos. Evaporación del agua y separación de sólidos y aceites. Disminución del agua por pulverización en presencia de gases calientes. Eliminación del agua al entrar en contacto con gases calientes. Secado del lodo por centrifugación a alta velocidad y pulverización en presencia de calor. Reducción de la cantidad de agua por el contacto del lodo con gases calientes en varias etapas.
Reducción térmica Incineración hogares múltiples Incineración lecho fluidificado Co-incineración con desecho Reactor vertical en pozo Oxidación con aire húmedo	Transformación de los sólidos orgánicos en productos finales mediante la aplicación de calor. Conversión del lodo en cenizas inertes con aplicación de calor. Combustión del lodo con aire fluidificante Incineración del lodo junto con residuos sólidos urbanos. Estabilización y reducción de volumen con la aplicación de presión y altas temperaturas en un pozo de fondo. Oxidación de la materia orgánica remanente en el lodo por aplicación de aire comprimido.
Evacuación final Aplicación al suelo Fijación química Otros	Destino final que se da a los lodos tratados. Disposición del lodo con aprovechamiento en terrenos agrícolas, forestales o marginales. Aprovechamiento del residuo y disposición final. Disposición en rellenos sanitarios y lagunas

Adaptado de Leyva Campos, 1998.

2.3.8 Tratamiento terciario o avanzado

Este nivel de tratamiento es socorrido cuando se requiere una calidad de agua muy alta. Los procesos más comunes para el tratamiento terciario del agua residual son: ósmosis inversa, ultrafiltración, adsorción con carbón activado, coagulación-sedimentación, electrodiálisis, microtamizado y cloración al punto de quiebre. Cada uno de estos procesos se describe brevemente en el cuadro 2.18.

Alternativas para el tratamiento de las aguas residuales

Cuadro 2.18 Métodos para el tratamiento terciario del agua residual.

Método	Descripción
<i>Osmosis inversa</i>	El agua se filtra a través de una membrana semipermeable gracias a la aplicación de una presión superior a la osmótica provocada por las sales disueltas en el agua residual. Este proceso permite separar del agua las sales disueltas que no se eliminan con otros métodos de desmineralización.
<i>Ultrafiltración</i>	Es un proceso semejante a la ósmosis inversas, 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), con la diferencia de que se realiza a presiones relativamente bajas.
<i>Adsorción con carbón activado</i>	Consiste en hacer pasar el agua a través de una columna que contiene carbón activado para que los compuestos presentes en el agua se adhieran a las partículas de carbón. Con este proceso, se pueden remover sustancias orgánicas resistentes a la descomposición biológica.
<i>Coagulación-sedimentación</i>	Consiste en inyectar al agua coagulantes como la cal, alumbre o cloruro férrico; los coagulantes provocan que los sólidos, microorganismos y compuestos coloidales se aglutinen formando partículas mayores que son sedimentables. La acción se mejora al agregar un polímero que acelere el proceso de sedimentación, y por floculación o agitación lenta. Posteriormente el agua pasa a un clarificador, donde las partículas se sedimentan. Este tratamiento remueve a los sólidos, elementos y microorganismos que los procesos biológicos no pueden eliminar como fósforo, metales pesados y virus.
<i>Electrodialisis</i>	En este proceso se separan del agua los componentes iónicos mediante un sistema de membranas semipermeables a las que se les aplica un potencial eléctrico lo que les permite retener los iones en ellas.
<i>Microtamizado</i>	Consiste en hacer pasar el agua por un tambor giratorio de baja velocidad, en el cual el agua entra por un extremo abierto del tambor y sale a través de los tejidos filtrantes dispuestos en el perímetro del mismo. Los elementos retenidos se lavan a contracorriente mediante inyectores de agua a presión y se conducen a un recipiente situado dentro del tambor.
<i>Cloración al punto de quiebre</i>	Consiste en agregar cloro al agua en concentraciones de 10 a 1 con respecto a el contenido de nitrógeno amoniacal del agua. el resultado es la remoción del nitrógeno mediante la formación de compuestos de gas nitrógeno. La cantidad de cloro necesario para lograr los objetivos de este proceso es de 40 a 50 veces mayor que la necesaria en la desinfección.

Adaptado de Leyva Campos, 1998

Bibliografía

1. Babbit, *Sistemas de Alcantarillado*. Editorial Limusa. México, 1983.
2. Facultad de Ingeniería de la UNAM. Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades de la República Mexicana. UNAM. México, 1993.
3. Leyva Campos, Velia A. *Aspectos de Ingeniería Civil en las plantas de tratamiento de agua residual*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. UNAM. México, 1998.
4. Metcalf y Eddy, *Ingeniería de las aguas residuales: Redes de alcantarillado y bombeo*. 3ª Edición. Mc. Graw Hill. México, 1996.
5. Metcalf y Eddy, *Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª Edición. Volúmenes 1 y 2. Mc. Graw Hill. México, 1996.
6. Noyola, *Sistemas de Tratamiento biológico de aguas residuales municipales*. Memorias del Congreso de Tratamiento de Aguas Residuales. Programa Universitario del Medio Ambiente. México, 1993.
7. Ramalho, R.S. Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Reverté. España, 1991.
8. Sámano Castillo, José. *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Estudio Comparativo de la Factibilidad técnico-económica en conjuntos habitacionales*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico. Facultad de Química. UNAM, México, 1993.
9. Tebbut, THY. *Fundamentos de Control de la Calidad del Agua*. Editorial Limusa. México, 1997.

Capítulo 3

***PROYECTO PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO***

PROYECTO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.

3.1 Descripción del Proyecto.

El proyecto *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario*, constituye una respuesta a la necesidad de mejorar la calidad de las descargas de agua residual dentro del Campus Universitario. Está contemplado dentro del Programa para el Manejo adecuado del agua, que es uno de los 8 programas básicos del Plan Básico de Saneamiento del Campus Universitario, que se mencionan a continuación:

- Uso eficiente de la energía.
- Dignificación de los servicios sanitarios.
- Mejoramiento continuo de las áreas verdes.
- Mejoramiento de la vialidad y transporte.
- Manejo de residuos sólidos.
- Manejo de residuos peligrosos.
- Manejo adecuado del agua.
- Dignificación de espacios.

El objetivo de este proyecto es extender el tratamiento de aguas residuales a la totalidad de las descargas para su reuso en riego de áreas verdes o su infiltración de forma que se proteja la salud pública y el ambiente.

El proyecto se fundamenta en la necesidad de evitar la descarga de aguas residuales sin tratamiento en las grietas de la capa rocosa. Además busca *que toda el agua que se extrae del subsuelo universitario sea devuelta por infiltración, después de utilizarla y tratarla*, evitando que el agua salga de Ciudad Universitaria a través de los sistemas de drenaje del Distrito Federal y el reuso del agua residual tratada para riego.

3.2 Efectos de la entrada en vigor del proyecto

A través de la ejecución de las obras para el tratamiento de agua en las zonas con problemas, se producirán aproximadamente 6,225 m³/d de agua tratada (se incluyen los 3,456 m³/d de la planta de tratamiento existente), que aunados a la recuperación de las aguas pluviales incidirán favorablemente en la recuperación del balance hidrológico de la Cuenca, bajo la premisa de que el tratamiento de las aguas residuales se hará a un nivel tal que asegure la protección del ambiente y la preservación de la salud con el cumplimiento de la normatividad vigente en materia ambiental.

Las acciones específicas contempladas dentro del Programa de Manejo Adecuado del Agua del Plan Básico de Saneamiento del Campus, en las que habrá una repercusión son:

1. *Recarga de los mantos acuíferos.* Mediante el uso del efluente tratado en el riego de áreas verdes o la infiltración directa a través la descarga a grietas.
2. *Ahorro del agua potable.* Mediante la sustitución del riego con agua potable por el riego con agua tratada, en zonas donde se utiliza esta práctica.

3. *Reducción de la contaminación de los mantos.* Mediante el tratamiento controlado de las descargas de aguas residuales en fosas sépticas, wetlands y plantas de tratamiento de agua residual con procesos biológicos (tanto aerobios como anaerobios).

3.3 Datos generales del Proyecto

Los proyectos ejecutivos para la construcción de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales que se construyan, deberán cumplir con los objetivos del Plan Básico del Campus y con las especificaciones técnicas recomendadas por la Dirección General de Obras y Servicios Generales y por el Instituto de Ingeniería.

La determinación y ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales deberá realizarse mediante el uso de planos actualizados de la red de drenaje, planos topográficos y visitas de campo, con criterios basados en la optimización de costos, como la búsqueda de conducción por gravedad ; y minimización del impacto al ambiente y a la infraestructura existente.

3.3.1 Disposición final

La disposición final de los efluentes generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales serán: riego de áreas verdes y/o infiltración al acuífero.

Los criterios para seleccionar la forma de disposición final de las aguas tratadas son:

- Reuso en riego de áreas verdes en las zonas en las que se utiliza agua potable para este fin.
- Infiltración mediante pozos de inyección o descarga a grietas de los excedentes que no se puedan utilizar en el riego, con una calidad suficiente para evitar la contaminación del acuífero.

3.3.2 Tipo de proceso

Cuando el caudal generado es menor a 5 m³/d y no es posible justificar económicamente el tendido de una línea de drenaje, debido a su longitud y topografía del terreno, se recomendó el *tratamiento in situ* a través de un tren de tratamiento conformado por :

- Pretratamiento (rejillas, desarenador y separador de grasas).
- Fosa séptica.
- Postratamiento.

Para la selección de la tecnología y los tipos de proceso de tratamiento a utilizar en las instalaciones cuya descarga sea superior a 5 m³/d, se siguieron dos criterios:

- Búsqueda del menor grado de complejidad y máxima economía en los tipos de proceso, de manera que se obtengan las eficiencias requeridas.
- Favorecer la selección de tecnologías de tratamiento desarrolladas en la UNAM:
 - Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).
 - Reactor biológico aerobio de biomasa fija sumergida.
 - Tratamiento natural con base en plantas acuáticas (*wetland*).

3.3.3 Acciones realizadas

Dentro de este proyecto se han realizado las siguientes acciones :

- Construcción y/o adecuación de 26 fosas sépticas con postratamiento ubicadas en diferentes edificios e instalaciones del Campus cuyas descargas tuvieran como máximo un caudal de 15 m³/d (cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Características de las fosas sépticas con postratamiento para aguas residuales construidas en el Campus.

Clave	Ubicación Dependencia	Caudal de diseño		Área m ²
		m ³ /d	l/s	
FS-01	Registro de aspirantes (oficinas)	5	0.06	20
FS-02	Registro de aspirantes (público)	5	0.06	20
FS-03	Caseta de vigilancia (Av. Imán)	5	0.06	20
FS-04	Caseta de vigilancia Zona Cultural (Av. Insurgentes)	5	0.06	20
FS-05	Dirección de Teatro y Danza	10	0.12	30
FS-06	Sala Netzahualcóyotl			
FS-07	Caseta de vigilancia (Circ. Mario de la Cueva)	5	0.06	20
FS-08	Vivero alto (cabaña 1)	5	0.06	20
FS-09	Vivero alto (Invernadero)	5	0.06	20
FS-10	Vivero alto (Caseta de cloración)	5	0.06	20
FS-11	Mesa vibradora	5	0.06	20
FS-12	Mesa vibradora (taller)	5	0.06	20
FS-13	Jardín botánico (oficinas)	5	0.06	20
FS-14	Jardín botánico (baños públicos)	5	0.06	20
FS-15	Posgrado de odontología (ala norte)	10	0.12	30
FS-16	Posgrado de odontología (ala sur)	10	0.12	30
FS-17	Caseta de vigilancia (metro universidad)	5	0.06	20
FS-18	Comedor (Anexo de Ingeniería)	5	0.06	20
FS-19	Caseta de vigilancia Trabajo Social (Av. Insurgentes)	5	0.06	20
FS-20	Caseta de vigilancia (campo de béisbol)	5	0.06	20
FS-21	Planta Incineradora	5	0.06	20
FS-22	Canchas de fútbol	5	0.06	20
FS-23	Gimnasio	15	0.17	40
FS-24	Subdirección de Medicina Deportiva	5	0.06	20
FS-25	Unión de Universidades de América Latina (UDUAL)	5	0.06	20
FS-26	Caseta de Vigilancia (ala poniente del Estadio Olímpico)	5	0.06	20
TOTAL		120	1.43	440

FS Fosas sépticas; Ver ubicación en figura 3.1

Adaptado del Proyecto Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario

- Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. La planta consiste en un reactor biológico de biomasa fija sumergida con una capacidad instalada de 7.5 l/s. Además se construyeron las líneas de drenaje para captar y conducir a la planta las descargas de los edificios de la zona (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Características de la planta de tratamiento de aguas residuales de la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Dependencias Servidas	Longitud de la línea de Drenaje			Apor-tación. l/s	Área m ²
	Gravedad m	Bombeo m	Total m		
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	582.35	-	582.35	5.5	
Dirección General de Televisión Universitaria, TV-UNAM	352.45	-	352.45	0.5	
Tienda UNAM (metro CU)	200.29	-	200.29	0.5	
Filmoteca	80.40	-	80.40	0.5	
Instituto de Investigaciones Antropológicas	151.57	110.00	264.57	0.5	
TOTAL	1,369.06	110.00	1,479.06	7.50	300

Ver ubicación en figura 3.1

Adaptado del Proyecto Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario

Proyecto plantas de tratamiento de aguas residuales en el Campus Universitario

- Realización de estudios y proyectos para la construcción de 8 reactores anaerobios de lecho de lodos con flujo ascendente en edificios cuyas descargas de aguas residuales estuvieran entre un rango de 40 m³/d a 70 m³/d (cuadro 3.3).

Cuadro 3.3 Características de los reactores anaerobios proyectados para el tratamiento de las aguas residuales de edificios con descargas entre 40 y 70 m³/d.

Clave Ubicación Zona/Dependencia(s) Servida(s)	Caudal de diseño		Área m ²	Longitud de la línea de drenaje [m]		
	m ³ /d	l/s		G	B	CB
U-01 DGAE Centro de Información Documental (Oficinas metro CU) Centro de Desarrollo Infantil Clínica Santo Domingo Comedor del Posgrado de Odontología Bioterio del Posgrado de Odontología	55	0.64	110	70	15	1
U-02 Unidad Bibliográfica Hemeroteca Nacional Instituto de Investigaciones Bibliográficas	55	0.64	110	125	215	2
U-03 Zona Cultural Sala Netzahualcóyotl (Aja Sur) Sala Carlos Chávez Sala José Revueltas Sala Julio Bracho Sala Miguel Covarrubias	50	0.57	105	100	315	2
U-04 Conservación Zona Exterior Taller de Conservación (Zona Cultural) Departamento de Telecomunicaciones Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios Dirección General de Programación y Presupuesto	50	0.57	105	300	150	1
U-05 Oficinas Administrativas Exteriores Dirección General de Control e Informática Dirección General de Patrimonio Universitario Auditoría Interna Dirección General de Estudios de Legislación Universitaria Secretaría Administrativa Dirección General de Personal Dirección General de Asuntos Jurídicos Dirección de Asuntos del Personal Académico Defensoría del Derecho Universitario Secretaría de Extensión Académica Dirección General de Apoyos y Servicios a la Comunidad Dirección de Literatura Dirección General de Protección y Servicios a la Comunidad	115	1.33	190	350	-	-
U-06 Instituto de Investigaciones Filosóficas Instituto de Investigaciones Filosóficas Instituto de Investigaciones Filológicas Coordinación y Consejo Técnico de Humanidades Instituto de Investigaciones Históricas y Éticas Instituto de Investigaciones Jurídicas	70	0.81	150	500	245	2
U-07 Multifamiliar Multifamiliar (42 departamentos)	40	0.46	75	30	-	-
U-08 DGSCA Dirección General de Servicios de Cómputo Académico Posgrado de Contaduría	60	0.69	120	300	170	1
TOTAL	495	6.72	965	1,775	1,110	9

NOTAS:

U Reactor anaerobio de flujo ascendente, G Conducción por gravedad, B Conducción por bombeo, CB Cárcamos de bombeo
Ver ubicación en figura 3.1

Adaptado del Proyecto Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario

- Realización de estudios y proyectos para la construcción de 8 reactores anaerobios de lecho de lodos con flujo ascendente en edificios cuyas descargas de aguas residuales estuvieran entre un rango de 15 m³/d a 20 m³/d, así como de 2 plantas de tratamiento natural con base en plantas acuáticas (wetland) descritas en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Características de los sistemas de tratamiento biológico para la depuración de las aguas residuales de edificios con descargas entre 10 y 20 m³/d.

Clave Ubicación	Caudal de diseño		Área	Longitud de la línea de drenaje [m]
	m ³ /d	l/s	m ²	
U-09 DGFE Dirección General de Fomento Editorial Talleres Mecánicos de la Dirección General de Protección a la Comunidad Dirección General de Administración Escolar (local de registro)	17	0.19	40	200
U-10 Instituto de Investigaciones Jurídicas Instituto de Investigaciones Jurídicas Instituto de Investigaciones Estéticas e Históricas	15	0.17	40	235
U-11 DGO y SG Dirección General de Obras y Servicios Generales	20	0.23	50	50
U-12 Edificio 12 del Instituto de Ingeniería Edificio 12 del Instituto de Ingeniería	15	0.17	40	30
U-13 Teatro Juan Ruiz de Alarcón Teatro Juan Ruiz de Alarcón Foro Sor Juana Inés de la Cruz	15	0.17	40	300
U-14 Centro de Ecología Centro de Ecología	20	0.23	50	ND
U-15 Jardín Botánico Jardín Botánico	15	0.17	40	ND
U-16 CISE Centro de Instrumentos	15	0.17	40	150
W-01 Unidad de Seminarios Unidad de Seminarios "Dr. Ignacio Chávez"	10	0.11	150	100
W-02 UNIVERSUM Museo de las Ciencias Casita de las Ciencias	75	0.86	800	300
TOTAL	217	2.51	1,290	1,110

NOTAS:

U Reactor anaerobio de flujo ascendente, W Tratamiento natural con base en plantas acuáticas (wetland)

Ver ubicación en figura 3.1

Adaptado del Proyecto Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario

- Realización de estudios para la construcción de una o varias plantas para el tratamiento de las aguas residuales de la zona de GEOS.

3.4 Alcances del Proyecto para la construcción Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Zona de los GEOS

La construcción de la planta de tratamiento de agua residual en la zona de los GEOS, responde a el objetivo principal *Programa para el Uso Eficiente del Agua*, es decir lograr el principio de descarga cero, el cual implica que toda el agua que se extrae del subsuelo sea devuelta por infiltración, después de utilizarla y tratarla, evitando que el agua salga de Ciudad Universitaria a través de los sistemas de drenaje. Dicha planta de tratamiento se someterá a un concurso público y el ganador será el responsable de la elaboración del proyecto ejecutivo, construcción, equipamiento y puesta en marcha, con las siguientes obligaciones:

- Elaboración del proyecto ejecutivo en conformidad con la tecnología seleccionada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y con la propuesta por el mismo, previo a adjudicación por la DGO y SG de la UNAM.
- Construcción, equipamiento y puesta en marcha de las plantas de tratamiento.

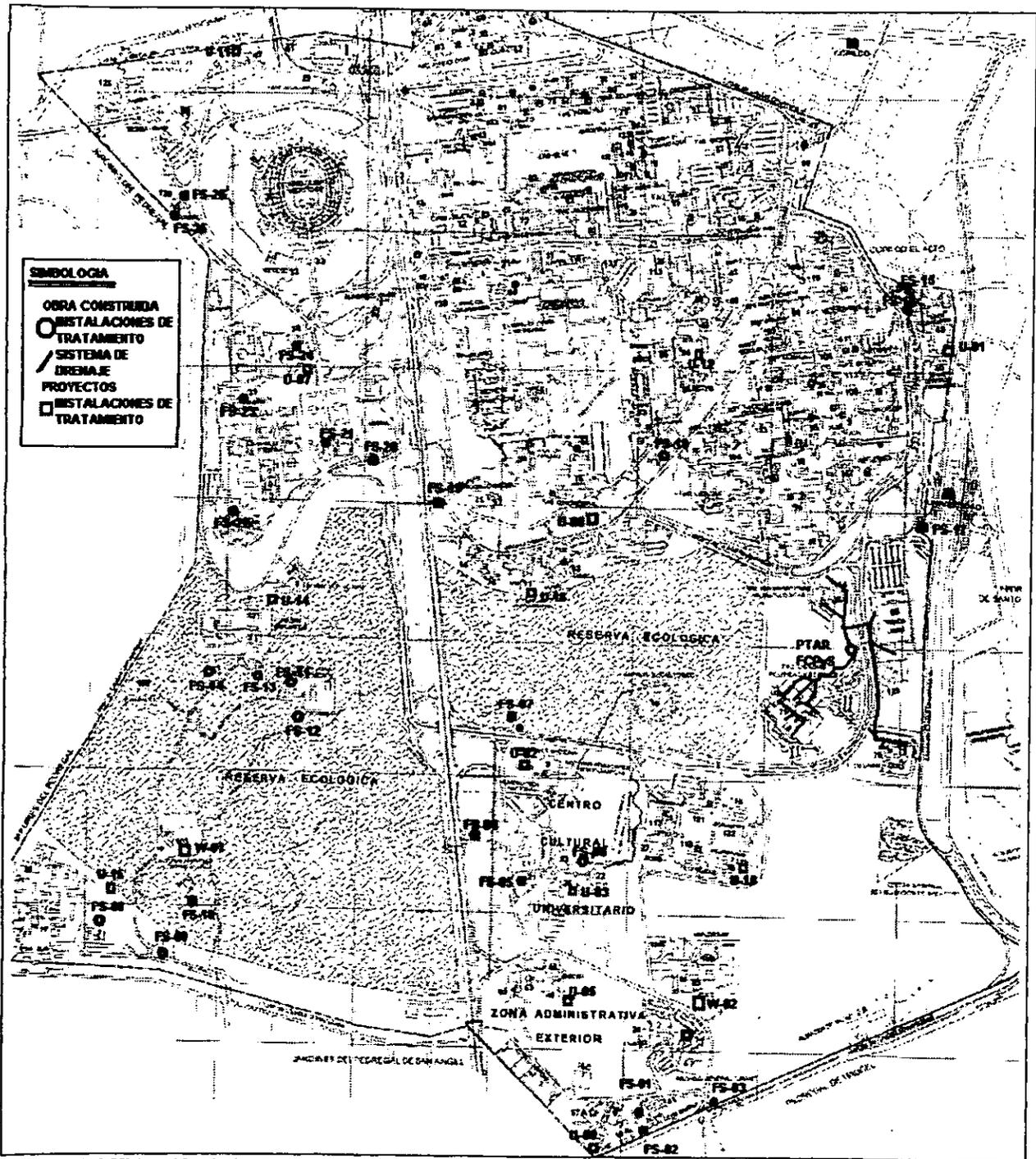


Figura 3.1 Ubicación de las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales en el Campus Universitario.

- Cumplimiento de la normatividad ambiental, técnica, constructiva, de seguridad, laboral, fiscal y de cualquier otra reglamentación aplicable a la construcción, equipamiento y puesta en marcha de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Elaboración de manuales donde se indiquen las acciones de operación y las que correspondan al mantenimiento rutinario y preventivo de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Capacitación, durante la etapa de arranque y puesta en marcha de la planta de tratamiento, del personal designado por la UNAM para la operación y mantenimiento de las instalaciones cuando éstas sean entregadas.
- Operación de la planta por un mes, no incluido el tiempo de arranque, con objeto de probar el adecuado y consistente cumplimiento con los parámetros de calidad de agua tratada fijadas las bases de licitación.

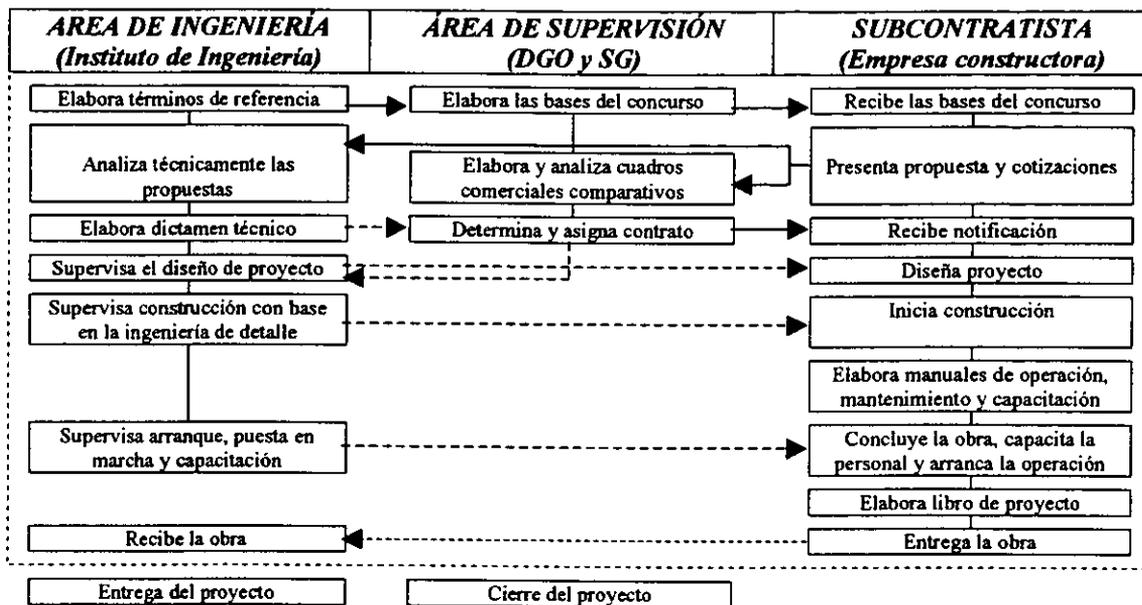


Figura 3.2 Secuencia de actividades para la subcontratación del proyecto de la zona de GEOS

La conducción de las aguas residuales a la planta de tratamiento, se realizará por medio de un sistema de alcantarillado que aliviará el drenaje de los edificios que actualmente conforman el área de proyecto y que descargan sus aguas residuales en las grietas de las rocas.

Los recursos para el financiamiento de este proyecto, provienen del Banco Interamericano de Desarrollo y del Fondo del Quinto Centenario del Gobierno Español y son canalizados a través del programa UNAM-BID, mediante los cuales se contempla la construcción de bibliotecas, laboratorios y obras de saneamiento y mejoramiento ambiental.

Bibliografía

1. Comisión para el Control Ecológico del Campus. *Nomratividad para el Control Ecológico del Campus*. Capítulos 1 y 2. Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM, México, 1996.
2. Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería. *Proyecto Plantas de Tratamiento de Agua Residuales en el Campus Universitario*. Instituto de Ingeniería, proyecto 6321. UNAM, México, 1996.
3. Rivero Serrano et al. *La Situación Ambiental en México*. Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM, México, 1996.

Capítulo 4

***ANALISIS TECNICO Y ECONOMICO
PARA LA SELECCION DE
ALTERNATIVAS***

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El análisis técnico-económico consiste en la evaluación de las alternativas posibles, que se comparan en términos económicos y en la medida de lo posible deben definir los siguientes puntos (Leyva Campos, 1998):

- Estudio técnico. Consiste en definir la localización de la planta, demostrar su viabilidad y englobar los requerimientos tecnológicos de personal, instalaciones e insumos.
- Estudio económico. Estimación del monto de inversión y de 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, forma de pago y tasas de retorno de capital.

4.1 Consideraciones fundamentales

Para determinar el sitio para la ubicación más adecuada de la planta de tratamiento de aguas residuales de la zona de los GEOS, se evaluaron las siguientes características:

- El área requerida por la planta en función del tipo de proceso de tratamiento recomendado y de la cantidad de aguas residuales producidas en la zona.
- Condiciones topográficas, distribución de los edificios con mayor producción de agua residual y de las áreas disponibles en la zona para la construcción de la planta; con el fin de determinar las rutas de alcantarillado con la menor excavación posible y para favorecer la conducción de agua residual por gravedad, con el gradiente hidráulico adecuado.

En general, las plantas de tratamiento de agua residual se ubican en los lugares más desfavorables desde los puntos de vista topográfico, geotécnico e hidrológico. En este sentido, se requiere hacer estudios topográficos, geotécnicos e hidrogeológicos que permitan asegurar el correcto funcionamiento de la planta durante su operación. Por otro lado, una correcta selección del sitio para la ubicación de una instalación de este tipo requiere la ponderación de varios factores para disminuir los impactos económicos, sociales y ambientales que ello implica como son las características del suelo, infraestructura existente, dirección de los vientos reinantes y dominantes, climatología, etc. La importancia de estos factores se explica en los apartados 4.1.1 y 4.1.2 de este trabajo.

4.1.1 Características geotécnicas

No es posible concebir una planta de tratamiento de agua residual, en sus aspectos sanitario e hidráulico, sin considerar la respuesta del suelo, ya que como en otros tipos de infraestructura básica, no existen proyectos tipo aplicables a cualquier condición geotécnica. Es indispensable el diseño de una cimentación que reduzca los asentamientos totales o diferenciales, conforme a las restricciones de cada tipo de proceso, además de un conocimiento de las precipitaciones de la zona, ya que casi siempre las plantas de tratamiento se construyen en terrenos bajos susceptibles de inundación. Ante estas condiciones, es necesario tomar una serie de precauciones para reducir

al mínimo el riesgo de que se presenten en las estructuras asentamientos diferenciales, volteo y flotación, a fin de que operen de manera eficiente y segura (ver cuadro y figura 4.1).

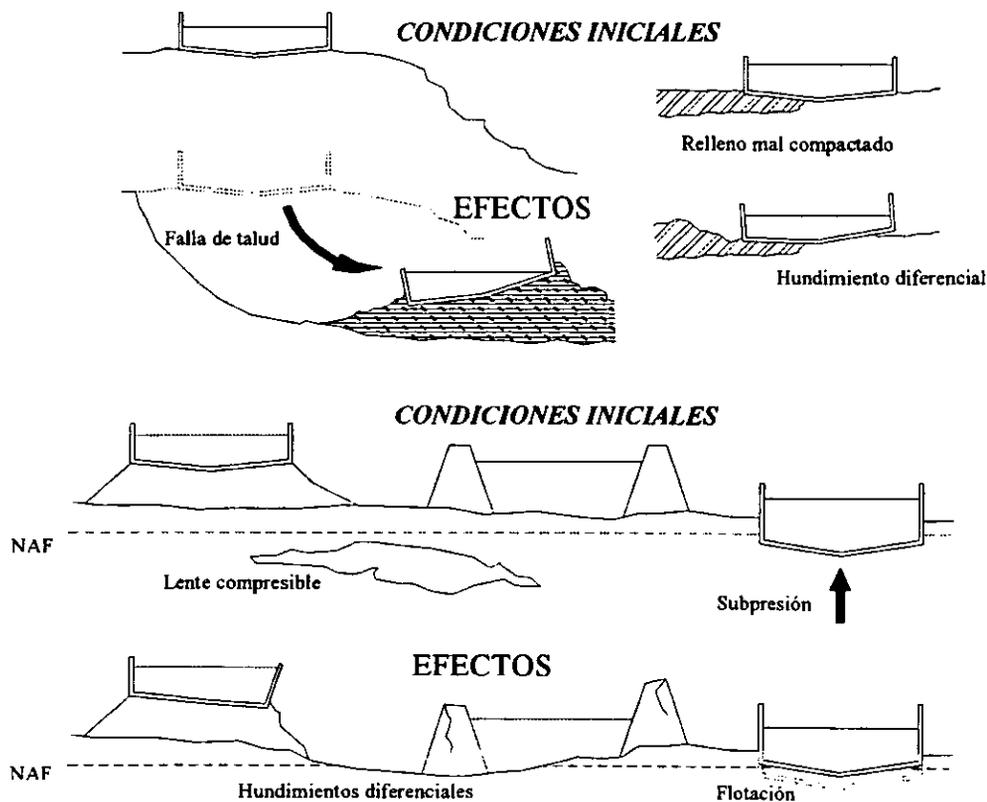


Figura 4.1 Fallas estructurales comunes en tanques y estructuras de tratamiento.

Cuadro 4.1 Recomendaciones para reducir el riesgo de fallas estructurales en tanques y estructuras de tratamiento.

Condición	Problemas	Recomendaciones
Cercanía a talud	Desnivelaciones diferenciales Deslizamiento de talud	Ubicación de las estructuras a una distancia mayor o igual a 2 veces la altura del talud.
Nivel freático superficial	Flotación de las estructuras Inundación de la planta	Abatimiento del nivel freático. Tratamiento del suelo (impermeabilización, relleno con mats porosos). Realización de canalizaciones para la evacuación del agua.
Alto contenido de materia orgánica y/o sales	Corrosión de los elementos estructurales y de conducciones	Tratamiento del suelo (remoción e la capa orgánica y relleno con material inerte).
Zonas de relleno	Desnivelaciones diferenciales	Tratamiento del suelo (compactación adecuada).

Adaptado de Murillo, 1991

Debido a la gran interacción existente entre el suelo y las estructuras de tratamiento, es necesario conocer la resistencia, estratigrafía y demás propiedades tanto físicas como mecánicas del suelo. En este sentido se recomienda la realización de sondeos en el suelo donde se desplantará el proyecto de los que se obtendrán muestras que se analizarán en el laboratorio. El número de sondeos recomendados en el RCDF (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 1993) es de 4 por los primeros 929 m² y 2 por cada 929 m² adicionales. Las pruebas de laboratorio están

encaminadas a determinar las propiedades índice (clasificación del suelo, contenido de agua, densidad de sólidos, granulometría, límites de consistencia y porcentajes de finos); y las propiedades mecánicas (consolidación, permeabilidad, resistencia y capacidad de carga) del suelo.

En términos generales, el suelo de Ciudad Universitaria y de la zona de los GEOS es de material rocoso fragmentado, las rocas son basaltos y tienen las siguientes características:

Cuadro 4.2 Características del suelo de Ciudad Universitaria.

Material:	Roca (basaltos)
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²):	500
Densidad relativa:	2.65
Coefficiente de abundamiento:	1.80

4.1.2 Factores considerados para la selección del predio

Para la selección de un predio en el que se ubique una planta de tratamiento de aguas residuales, generalmente entran en juego muchos factores. Para llevar a cabo un análisis serio de este punto se recomienda hacer una matriz de decisión en la cual se pondere la importancia de cada uno de los mismos y se les asigne factor de peso de acuerdo a las necesidades y disponibilidades particulares de cada proyecto. Otra forma de seleccionar el predio en el que se ubicará la planta consiste en localizar los predios posibles y establecer los costos tanto de implantación como de operación de cada una de las alternativas posibles. A continuación se enlistan algunos factores:

- **Topografía.** La topografía del terreno es importante en la medida que permita la conducción por gravedad del agua dentro de la planta y hacia ella de manera que los costos de operación de la misma sean los menores posibles, en general es recomendable situar una planta en lugares bajos de manera que la conducción del agua residual hacia ella se pueda dar por gravedad. Para disminuir el consumo energético dentro de la planta, conviene plantear un arreglo de sus instalaciones que minimice el número de bombeos necesarios para llevar a cabo el proceso de tratamiento.
- **Tipo de suelo.** Las características del suelo son importantes durante la construcción de la planta para disminuir los costos tanto de excavación como por concepto de mejoramiento para el desplante de las estructuras; durante la operación de la planta es importante que la permeabilidad del suelo sea baja de manera que se minimice el riesgo de un impacto ecológico adverso por la infiltración al subsuelo de una posible fuga del agua residual de las instalaciones de tratamiento.
- **Longitud y características de la línea alcantarillado** que conducirá el agua residual a la planta de tratamiento. La longitud de la línea de alcantarillado tiene una gran relevancia económica durante la implantación, porque representa una inversión alta por metro lineal de tubería. Las características de la línea seleccionadas como el tipo de material, forma de funcionamiento (por gravedad o bombeo), entre otras; son muy importantes ya que los costos de operación del sistema de saneamiento dependen en gran medida de ellas. Por ejemplo la inversión necesaria para construir un sistema estanco (como el de tubos de concreto reforzado con junta hermética o de tubería de HPD) es mayor que la requerida para sistemas normales (concreto simple con junta de viga y campana), pero dicha

inversión inicial se puede llegar a justificar cuando la infiltración al sistema es de tal magnitud que implique el aumento de diámetro de la tubería y mayores costos de operación en la planta debidos a mayores consumos de energía requeridos para evacuar los caudales excedentes. La evaluación del tipo de funcionamiento de la línea implica comparar tanto los costos de operación como los de implantación, pues cuando un sistema de conducción se realiza a presión (por bombeo) requiere además de mayores gastos de operación y mantenimiento que una conducción por gravedad, gastos de inversión que pueden llegar a ser mayores que los de una conducción por gravedad como la construcción de cárcamos de bombeo, compra de bombas, válvulas, entre otros.

- *Costo del terreno.* El costo de l terreno puede llegar a ser un factor importante para decidir la ubicación de la planta de tratamiento, sobre todo cuando la planta es de pequeño tamaño.
- *Ubicación del terreno con respecto a obras de infraestructura.* En muchos casos los terrenos que presentan mejores condiciones desde el punto de vista topográfico y del tipo de suelo, pueden ubicarse en zonas lejanas a las obras de infraestructura de manera que la inversión requerida para la construcción de las obras de infraestructura necesarias para la operación de la planta, como obras de drenaje, caminos de acceso, acometida eléctrica con la tensión necesaria para el funcionamiento de los equipos, entre otras; pueden llegar a ser mayores que la requerida para la construcción de la planta.
- *Cercanía del sitio para la disposición de las aguas tratadas.*
- *Dirección de los vientos reinantes y dominantes.*
- *Terrenos inundables o adyacentes a corrientes con posibilidades de inundamiento.* Cuando una planta de tratamiento se construye en las inmediaciones de cuerpos de agua, un costo importante puede ser el relacionado con la construcción de obras contra inundaciones.

La importancia de cada uno de los factores dependen del impacto que tengan dentro del proyecto considerando las limitantes sociales, económicas y técnicas que representa cada uno de ellos.

4.2 Caudales a tratar

El conocimiento real de los caudales aportados, es fundamental para un buen diseño de todas las estructuras para el tratamiento, captación y conducción de las aguas residuales. Existen varios métodos para estimar la cantidad de agua aportada, de manera general estos métodos se pueden agrupar en aforos directos y determinaciones indirectas en función de aportaciones de la población. A continuación se describen estos métodos:

Aforos directos. Consisten en la medición directa de las aportaciones utilizando instrumentos medidores de gasto de tipo físico, mecánico, químico o electrónico. En general, todos estos métodos se sustentan en principios físicos de comportamiento de los fluidos como la ley de continuidad ($Q = A \cdot V$, donde Q = caudal, A = área de la conducción y V = velocidad del fluido) que permiten relacionar las características del flujo con las del conducto para obtener la cantidad de líquido que pasa por una sección de la conducción (ver pretratamiento en capítulo 2). Es conveniente saber que cada uno de los métodos de aforo mencionados requieren de

cuidados especiales para la selección de las secciones y la colocación de los instrumentos de medición, por lo que se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante para el uso de estos instrumentos.

Estimaciones basadas en aportaciones medias de la población. Cuando existe dificultad para medir de manera directa las aportaciones, el caudal de aportación se calcula con base en estimaciones. Como regla general, es necesario que las estimaciones del caudal lo sean lo más cercanas a la realidad para obtener diseños de las instalaciones de saneamiento suficientes y económicos. Las estimaciones de caudal se basan en aportaciones medias de la población o bien en un porcentaje del consumo medido. A continuación se explican ambos métodos:

- Estimación del caudal en base a aportaciones medias de la población. Las aportaciones son determinaciones obtenidas estadísticamente en poblaciones de características similares a la de estudio. Las aportaciones medias se calculan en función del caudal aforado en un cierto período de tiempo y emitir recomendaciones de uso en función del tipo de actividad (doméstica, académica, servicios públicos, administrativas, etc). Se ha observado que dependen de las costumbres locales, nivel socioeconómico de la población, usos del agua, etc.
- Definición de aportaciones de agua residual de acuerdo con el porcentaje de consumo real observado (generalmente el 70 por ciento o más dependiendo de las costumbres locales como riego de jardines, lavado de patios y pérdidas en fugas).

4.2.1 Estimación de caudales para el proyecto.

El caudal disponible, de aproximadamente 13,824 m³/d, extraído de los tres pozos que abastecen de agua a Ciudad Universitaria, implica una dotación promedio para todos los usos de 120 l/usuario/día para cada uno de los 115,000 usuarios de Ciudad Universitaria (entre alumnos, profesores investigadores y empleados administrativos), sin considerar las pérdidas en las tuberías de conducción, ni que una parte del agua potable es utilizada para el riego de las áreas verdes de algunas dependencias; las cuales representan el 55% del total de acuerdo a estimaciones realizadas por el Instituto de Ingeniería en 1996 (Noyola y Sámano, 1996). Por otro lado, los usos de la misma son muy distintos dentro de las diversas instalaciones universitarias académicas, de investigación, deportivas y de servicios, por lo que suponer una distribución per cápita independientemente del tipo de usuario sería erróneo.

En la zona de los GEOS las descargas de las diferentes dependencias son heterogéneas en cuanto a su magnitud, puntuales y muy dispersas, lo que representa un serio obstáculo para el aforo directo de los caudales. Esto condujo a el cálculo de las aportaciones de la zona mediante métodos indirectos obtenidos con datos experimentales obtenidos de registros de consumo de agua en algunos edificios de Ciudad Universitaria con un posterior ajuste de los resultados obtenidos mediante la comparación con recomendaciones del RCDF. Cabe mencionar que el flujo de agua considerado es únicamente de aguas negras y que el estudio realizado considera infiltraciones al drenaje.

Para este estudio, se realizaron las siguientes actividades:

- Obtención de los la población y consumos de agua potable per cápita promedio de 6 dependencias universitarias cuyas actividades fueran similares a las realizadas en algunas dependencias de la zona de los GEOS (Cuadro 4.3). El consumo de agua en dichas dependencias fue registrado durante 6 meses (septiembre de 1997 a febrero de 1998).

Cuadro 4.3 Consumos per cápita promedio de 6 dependencias de Ciudad Universitaria.

Dependencia	Consumos			No. Usuarios	Consumo per cápita ³		
	Máximo ¹ m ³ /día	Promedio ² m ³ /día	Mínimo ¹ m ³ /día		Máxima l/usuario/día	Promedio l/usuario/día	Mínima l/usuario/día
Instituto de Investigaciones Biomédicas	3.4	3.0	2.2	417	8.2	7.2	5.4
Facultad de Derecho	25.6	15.3	6.9	10,250	2.5	1.5	0.7
Facultad de Derecho (Biblioteca)	6.3	2.4	0.0				
Fac. de Derecho Anexo Norte (Escuelita)	6.0	4.0	2.0				
Fac. de Derecho Anexo Sur (Escuelita)	13.3	9.0	4.9				
Facultad de Ingeniería	278.8	234.2	198.9	11,481	24.3	20.4	17.3
Facultad de Ingeniería Edificio Principal	21.7	20.0	18.1				
Facultad de Ingeniería Edificio A1	28.0	25.8	23.7				
Anexo de Ingeniería (Poniente)	229.1	188.3	157.1				
Anexo de Ingeniería (Oriente)	4.4	2.9	1.3				
Facultad de Arquitectura	2.0	1.8	1.2	6,859	0.3	0.3	0.2
Centro de Enseñanza para Extranjeros	1.5	1.1	0.8	541	2.8	2.0	1.5
Dirección General de Obras y Servicios Generales	18.1	10.5	5.7	272	66.5	38.5	20.9
				Máximos	66.5	38.5	20.9
				Promedio	20.8	13.9	9.2
				Mínimos	2.5	1.5	0.7

¹ Los consumos máximo y mínimo se obtuvieron de dividir el consumo registrado en los meses de mayor o menor consumo entre el número de días del mes.

² El consumo promedio es el promedio de todos los datos mensuales entre el número de días que duró el registro de los consumos.

³ Representa el consumo máximo, promedio y mínimo dividido entre el número de usuarios.

* No se consideraron los datos de la Facultad de Arquitectura pues el consumo per cápita registrado es demasiado bajo comparado con el resto de las instituciones educativas en las que se registró medición (ver Facultad de Ingeniería, Facultad de Derecho y Centro de Enseñanza para Extranjeros), lo que provoca que los datos en cuestión resulten poco confiables para los fines de este trabajo.

- Las aportaciones medias per cápita se calcularon como el 90% del consumo obtenido en el estudio y se compararon con las recomendaciones del RCDF (cuadro 4.4).

Cuadro 4.4 Aportaciones medias per cápita.

Tipo de usuario	Aportación de agua residual por día (l/d)		
	1	2	Seleccionada
Alumnos	35	23	23
Administrativos	35	90	90

NOTAS:

1 La aportación es igual a el 90 por ciento del consumo per cápita promedio de la dependencia de mayor consumo (ver cuadro 4.3)

2 Dotaciones recomendadas en el RCDF * 0.90

- Obtención de información de la población de los edificios situados en la zona de los GEOS, así como del tipo de actividades realizadas en los mismos. Para fines del estudio se consideraron dos clasificaciones para la población: académicos y administrativos. Con esta

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

información y las aportaciones medias per cápita, se calculó el caudal medio de la zona por dependencia (cuadro 4.5).

Cuadro 4.5 Cálculo de las aportaciones medias diarias de agua residual de las dependencias de la zona de los GEOS en función del tipo de usuario.

Dependencia		Número de usuarios			Caudal (l/s)
Cve	Nombre	Administrativos	Alumnos	Tot.	
Institutos					
1	Instituto de Astronomía	280	0	280	0.29
2	Instituto de Biología	412	0	412	0.43
3	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	201	0	201	0.21
4	Instituto de Ciencias Nucleares	112	0	112	0.12
5	Instituto de Fisiología Celular	398	0	398	0.41
6	Instituto de Física	560	0	560	0.59
7	Instituto de Geofísica	300	0	300	0.32
8	Instituto de Geografía	394	0	394	0.41
9	Instituto de Geología	231	0	231	0.24
10	Instituto de Investigaciones en Materiales	207	0	207	0.22
11	Instituto de Matemáticas	152	0	152	0.16
12	Instituto de Química	234	0	234	0.24
Facultades					
13	Facultad de Ciencias	360	7,183	7,543	2.25
14	Facultad de Química	204	565	769	0.36
15	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	423	3,852	4,275	1.44
Centros de Investigación					
16	Centro de Ciencias de la Atmósfera	150	0	150	0.15
17	Centros de Información Científica y Humanística (CICH) y de Servicios Académicos	356	0	356	0.37
18	Coordinación de la Investigación Científica	147	0	147	0.15
Servicios					
19	Base de Auxilio UNAM	150	0	150	0.15
20	Control Documental (DGAE)	60	0	60	0.06
21	CENDI Guardería	55	315	470	0.49
Programas					
22	Programa de Jóvenes a la Investigación (dentro del PUMA)	48	0	48	0.05
23	Programa Universitario de Investigación de la Salud (PUIS)	8	0	8	0.01
TOTAL		5,206	11,915	17,121	8.77

- Estimación de la variación horaria de las descargas que se realizan en la zona de los GEOS de acuerdo a las prácticas de consumo observadas durante un estudio realizado por el Instituto de Ingeniería en 1998 y en aforos realizados en los colectores de la llamada "zona antigua" que llegan a la planta de tratamiento de Copilco (Mancebo del Castillo, 1998 y Sámano y Noyola, 1996). Estos estudios consistieron en aforos directos realizados cada dos horas durante 1 día en las fosas sépticas construidas recientemente y en los colectores que se mencionaron anteriormente. Ambos estudios evidenciaron que el consumo comienza a crecer a partir de las 6:00 horas hasta llegar a un máximo que se registra alrededor de las 14:00, posteriormente disminuye el consumo gradualmente y registra un mínimo a las 17:00 horas. Posteriormente el consumo aumenta nuevamente hasta alcanzar un segundo pico a las 18:00 de donde desciende hasta las 19:00 para ascender a un tercer pico a las 20:00 horas (figura 4.2).

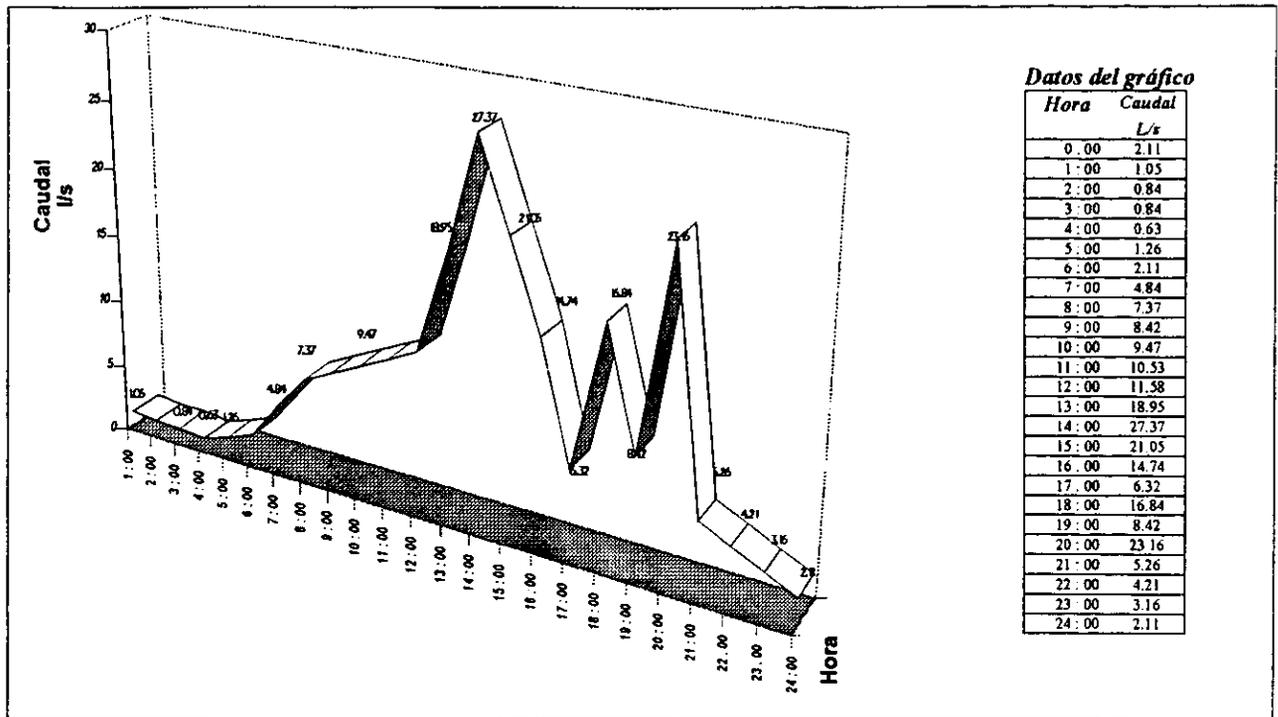


Figura 4.2 Distribución horaria del caudal en la zona de los GEOS.

- Estimación de la variación del caudal para diferentes días de la semana y ciclos escolares, según la distribución de la población en los diferentes períodos y descritos en el cuadro 4.6 como porcentajes de la aportación diaria obtenida con la aportación media (8.77 l/s ver cuadro 4.5).

Cuadro 4.6 Aportaciones por período y día.

1 Período escolar		
Descarga por día		
Día	%	Descargas m ³ /d
Lunes-viernes		757.89
Sábado	40.0	303.16
Domingo	10.0	75.79
Descarga por turno		
Turno	%	Descargas m ³ /turno
Matutino	64.4	488.08
Vespertino	35.0	265.26
Nocturno	0.6	4.55
Total	100.0	757.89
2 Vacaciones académicas		
Día	l/s	Descargas m ³ /d
Lunes-viernes	5.42	467.89
Sábado	2.2	187.16
Domingo	0.5	46.79
3 Vacaciones administrativas		
Caudal	l/s	Descargas m ³ /d
	0.88	75.79

4.3 Estudios topográficos

Los estudios topográficos son actividades de campo y gabinete que se realizan con la finalidad de obtener información planimétrica y altimétrica para representar en planos a escala la configuración del terreno necesario para la implantación del proyecto.

- a) *Planimetría*. Consiste en el registro de los puntos situados en el terreno en un plano horizontal. Se realiza mediante el trazo de una poligonal cerrada o bien abierta, dibujando los resultados en un plano.
- b) *Altimetría*. Consiste en ubicar la altitud de cada uno de los puntos del terreno. La representación de este tipo de información puede ser en cortes o perfiles y por medio de curvas de nivel. Se realiza localizando algunos puntos en el terreno cuya altitud sea conocida o referenciada a un banco de nivel.

En el proyecto, la información tanto altimétrica como planimétrica se obtuvo con medios *fotogramétricos*.

La *fotogrametría* consiste en obtener información de un objeto indirectamente mediante la medición de fotografías del mismo. Existen dos tipos de fotogrametría: *aérea* y *terrestre*. En la fotogrametría terrestre las fotografías se toman desde puntos fijos y cercanos al terreno; mientras que en la fotogrametría aérea o aerofotogrametría, las fotografías se toman generalmente desde un avión de forma que cubran el área de interés con vistas normales o inclinadas, a una escala y sobreposiciones adecuadas a las necesidades de cada caso.

La aerofotogrametría requiere para su aplicación del establecimiento de *puntos de control terrestre*, que son puntos en los que se conoce la información de topográfica (altitud, longitud y latitud) de manera que se utilicen como referencia en los trabajos posteriores. La información topográfica de dichos puntos se determina en campo mediante levantamientos topográficos directos (en el terreno) y los puntos son marcados de manera que durante la interpretación de las fotografías sean fácilmente reconocibles.

Una vez que se han localizado y marcado los puntos de control terrestre dentro del área del proyecto, se toman las fotografías desde un avión que tiene una cámara especial, de manera que se cubra el área requerida. La altura de vuelo depende de la escala requerida por las fotografías y la distancia focal de la cámara. Las cámaras pueden tomar fotografías *verticales* u *oblicuas*. En las fotografías *verticales* el eje de focal es perpendicular al plano del terreno, aunque los movimientos de la nave ocasionan que se incline unos cuantos grados de la vertical (generalmente un máximo de 5°, pero 1° en promedio). En las fotografías *oblicuas* el eje focal, se inclina intencionalmente para incrementar el área cubierta con una fotografía; en este caso si el ángulo es del orden de 20°, la fotografía se denomina *oblicua sin horizonte sensible* u *oblicua baja*; mientras que cuando el ángulo de inclinación del eje focal con respecto a la vertical es lo suficientemente grande como para que aparezca el horizonte, se le denomina *oblicua con horizonte sensible* u *oblicua alta*. En el caso de la fotografía aérea vertical, las fotografías se toman sucesivamente a medida que el aeroplano vuela, de manera que exista un traslape en el área captada entre fotografías sucesivas del orden del 60% (80% en caso de terreno montañoso) y del 20% en las fotografías adyacentes para asegurar la conexión correcta entre las fotografías (Anderson & Mikhail, 1988; ver *figura 4.3*).

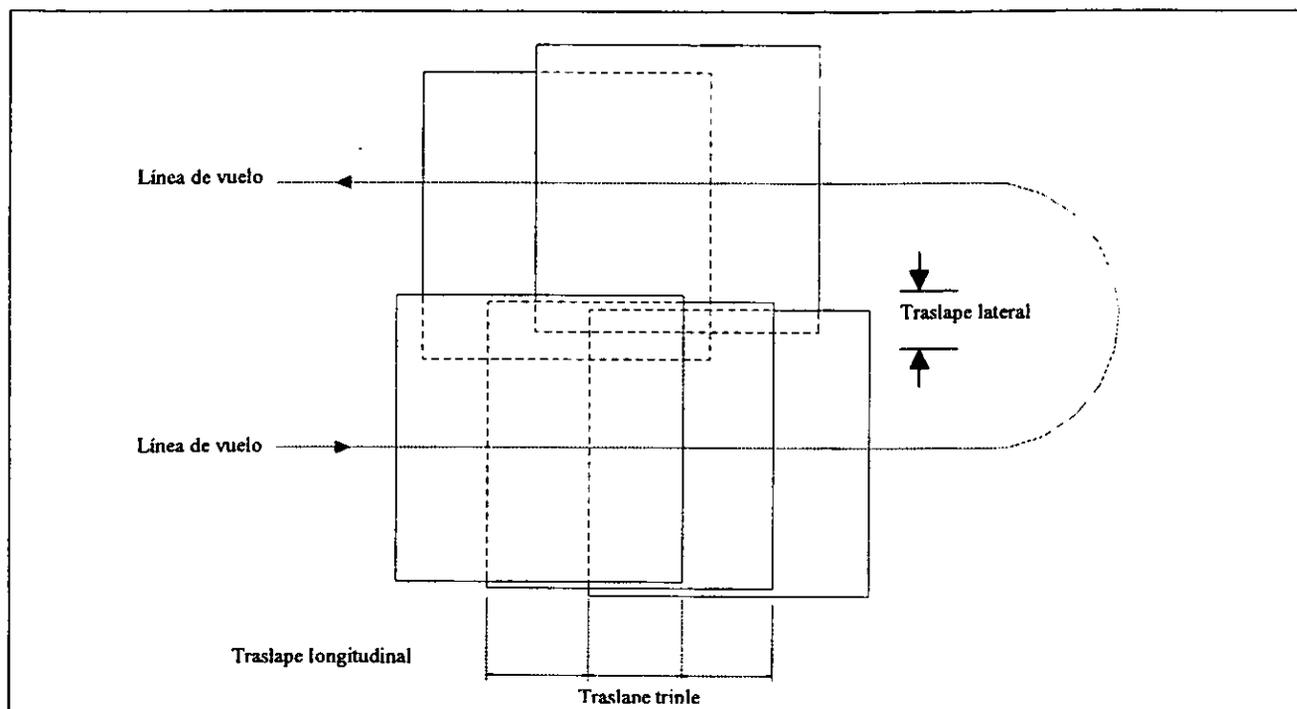


Figura 4.3 Traslape longitudinal y lateral de las fotografías para una restitución.

Después del vuelo, la película se lleva al laboratorio fotográfico para su procesamiento en donde se corrige la distorsión de las imágenes del terreno inherentes a las fotografías, que es mayor a medida que se alejan del eje focal. La distorsión se corrige mediante el traslape de varias fotografías durante los trabajos de restitución. Una vez que se tienen las fotografías corregidas, se procede a establecer la información topográfica de cada uno de los puntos de la fotografía y reflejarla en planos. Actualmente estos procedimientos se realizan mediante computadoras que almacenan la información de cada punto de manera automática y permiten su graficación.

Los trabajos realizados para obtener la información planimétrica y altimétrica en la zona de los GEOS se comentan a continuación:

- Planeación de los trabajos. Consiste en determinar el número de líneas de vuelo, la ruta de vuelo, la ubicación de los puntos de control terrestre, los métodos de levantamiento directo más económicos que cumplan con la precisión especificada, en función de la magnitud del área del levantamiento. Para el proyecto que tiene un área aproximada de 85 ha., una línea de vuelo resultó suficiente y los métodos de levantamiento directo seleccionados fueron Sistemas de Posicionamiento Global (SPG), para la ubicación topográfica de los puntos de control terrestre y estaciones totales para la medición de ángulos y distancias. Las coordenadas de referencia, serán referidas al Norte Astronómico y al Sistema Cartográfico Nacional y los bancos de nivel propagados se referirán al Banco de Nivel de la Facultad de Ciencias.
- Establecimiento de los puntos de control terrestre. Se establecieron cuatro puntos de control terrestre fuera del área del dibujo, pues entre más lejos se reduce más la magnitud de los

errores provocados por una mala estimación de los puntos de control. El posicionamiento de estos puntos se realizó mediante equipos SPG (Sistemas de posicionamiento Global), que calculan la posición de los puntos a través de lecturas simultáneas de 5 satélites que giran a una distancia de km. sobre la superficie terrestre a una hora en la que los 5 satélites están sobre el horizonte.

- **Vuelo.** El vuelo se realizó a una altura de 4,000 pies y las fotografías fueron tomadas con una cámara WILD mod. RC8 con distancia focal de 151.3 mm de manera perpendicular al plano del terreno. La escala de las fotografías es de 1:8,000. Las fotografías son cuadradas de 228.6 x 228.6 mm (9 x 9 ") y la emulsión usada fue blanco y negro pancromática.
- **Restitución de las fotografías.** La restitución se realizó en un aparato A-7 de la marca WILD de precisión de 1er. Orden. Para reducir la distorsión en los extremos de las fotografías, estas se acomodaron en mosaicos de manera que existiera un traslape del 60% en el sentido longitudinal del vuelo y del 30% en el sentido transversal. Cuando las fotografías estuvieron ajustadas, se procedió a obtener la información topográfica de algunos puntos y con ayuda de un programa de cálculo (Traverse) y otro de dibujo (Autocad), se generó el plano con la información planimétrica y altimétrica de la zona (*figura 4.4*).

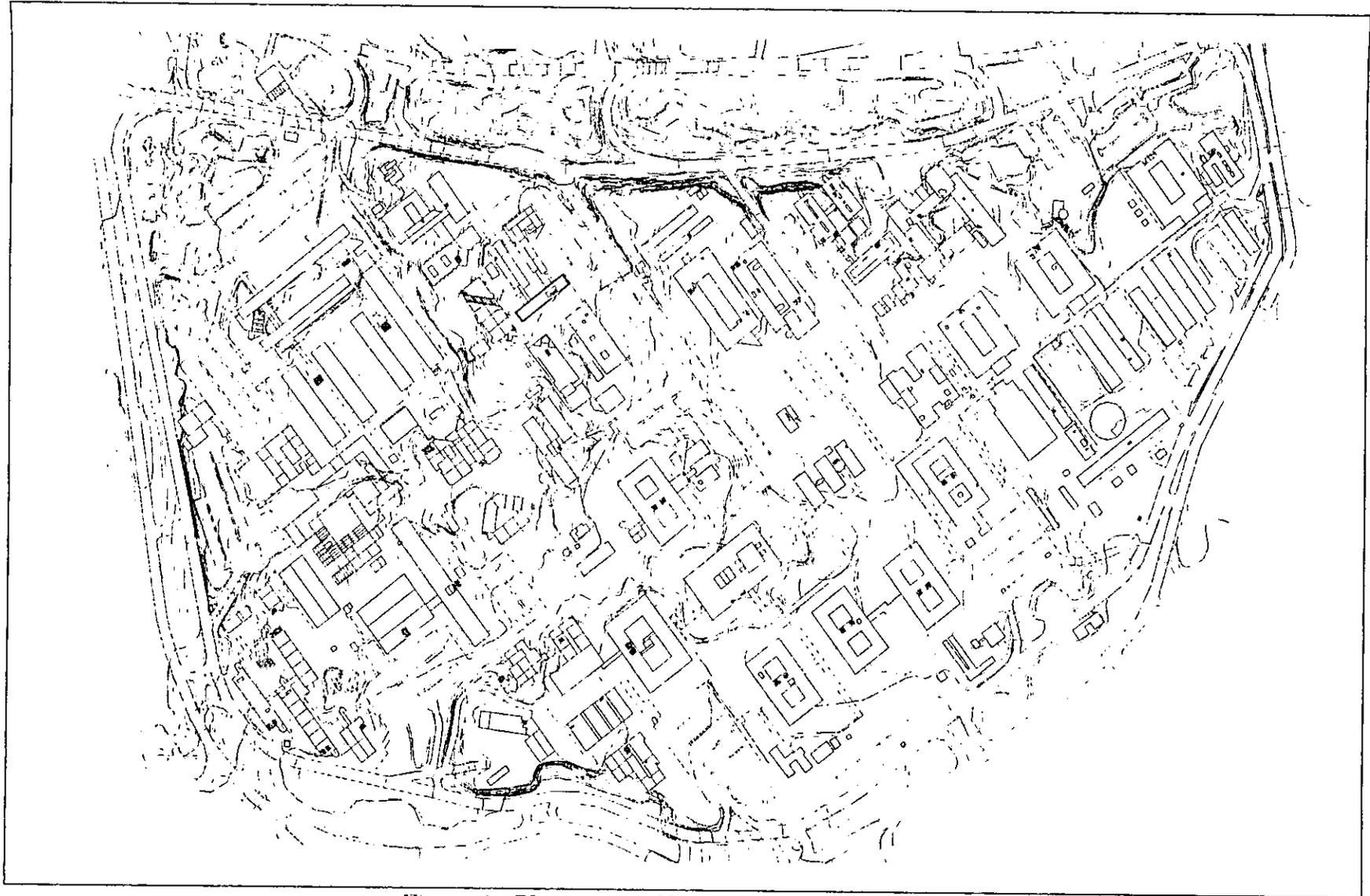


Figura 4.4 Plano topográfico de la zona de los GEOS.

Cortesía de Topografía, Ingeniería y Aerofotogrametría, S.C., 1998.

4.4 Alternativas

Las alternativas estudiadas para la ubicación de la(s) planta(s) de tratamiento de aguas residuales de la zona de los GEOS fueron 3. Cada una de ellas se estudió en función del área disponible en la zona y se hizo una estimación de los costos de su implantación y operación en función de la longitud y tipo de drenaje necesario; número y capacidad de las bombas e instalaciones de bombeo necesarias para hacer llegar el agua a la planta, número y capacidad de las plantas o instalaciones de tratamiento requeridas y de la necesidad de mandar el agua residual producida en la zona a la planta de tratamiento existente. A continuación se describen las alternativas y posteriormente se analiza cada una de ellas en función de los factores mencionados.

4.4.1 Descripción de las alternativas

Alternativa No. 1: Conducción del agua residual generada en la megamanzana de GEOS a la Planta de tratamiento existente.

Objetivo.

Conducir el agua residual por gravedad y/o bombeo a un tanque de almacenamiento ubicado al norte de la megamanzana de los GEOS, para su bombeo durante la noche a la planta de tratamiento de aguas residuales existente para su tratamiento (figura 4.5). Esta alternativa se analizó como respuesta a las necesidades de agua residual de la planta de tratamiento existente, ya que recientemente el agua de la colonia Copilco el Alto que llegaba ella fue desviada al subcolector Copilco del drenaje profundo por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal. Esta decisión, afecta la operación de la planta principalmente durante la noche ya que el agua que se produce en Ciudad Universitaria durante dicho periodo es muy poca y esta insuficiencia de agua provoca la generación de olores en las instalaciones de tratamiento.

Longitud.

695 metros de alcantarillas por bombeo
4,230 metros de alcantarillas por gravedad

Componentes.

Una planta de tratamiento (existente).

- Ubicada al poniente del estacionamiento de la Facultad de Medicina, en las inmediaciones de la salida hacia la calle Cerro del Agua. Esta planta tiene una capacidad instalada de 44 l/s en tres diferentes trenes de tratamiento de tipo biológico (lodos activados, discos rotatorios y filtros percoladores).

Un tanque para el almacenamiento de las aguas residuales de la zona.

- Ubicado al norte de la megamanzana de los GEOS (al sur del estacionamiento poniente de la Facultad de Medicina Veterinaria). La capacidad de almacenamiento del tanque será de 910.00 m³ que representa el volumen producido durante un día por las dependencias de la

zona afectado por un factor de sobredimensionamiento del 20%). Cabe mencionar que para evitar que se den condiciones sépticas (descomposición anaerobia de la materia orgánica contenida en las aguas residuales con generación de olores molestos) y sedimentación de partículas dentro del tanque, es necesario que se instalen agitadores dentro del tanque que provean al agua de oxígeno y favorezcan el mezclado continuo de las aguas residuales para evitar la sedimentación de las partículas sólidas en ella contenidas. Además es necesario que para evitar que los equipos se dañen, se instale antes del tanque por lo menos una rejilla. Bajo estas condiciones, este tanque representa una inversión grande y similar a la necesaria para la construcción de una planta de tratamiento primario.

Sistema de drenaje.

El sistema para la conducción de las aguas residuales a la planta de tratamiento, está conformado por dos partes:

- Subsistema sur. El subsistema sur está conformado por varios interceptores que conducen las aguas captadas hacia un gran cárcamo de bombeo del cual se elevan las aguas hacia
 - Ciencias poniente.- ubicado al poniente de la Facultad de Ciencias.
 - Ciencias oriente.- ubicado al oriente de la Facultad de Ciencias.
 - Física poniente.- ubicado al poniente del Instituto de Física.
 - Física oriente.- ubicado al oriente del Instituto de Física.
- Subsistema norte. Actualmente se encuentra en funcionamiento y está formado por dos colectores que conducen las aguas residuales por gravedad. El primero de ellos, recoge las aguas residuales generadas en el Instituto de Ciencias de Mar y Limnología en profundidades de 0.20 a 4.00 metros aproximadamente bajo la superficie del terreno con diámetro de 30 cm en las alcantarillas, mientras que el segundo recorre de sur a norte la Facultad de Medicina Veterinaria formado por alcantarillas que se encuentran a profundidades que varían de 0.20 a 4.50 metros bajo la superficie del terreno con diámetros de 20 cm en el sur a 30 cm en la parte norte. El estado de conservación de este subsistema es escasa, lo que ha provocado que existan azolvamientos en las alcantarillas con que van de ligeros a graves, encontrándose zonas en las que los tubos están obturados casi por completo y los cuales el agua residual se encuentra estancada y en condiciones sépticas lo que provoca la descomposición del agua residual con producción de gases y olores molestos.

10 cárcamos con estaciones de bombeo.

Los cárcamos con estaciones de bombeo tienen como fin el almacenamiento del agua de algunas zonas en las que las descargas se encuentran a alturas bajas con respecto a las de los edificios circundantes para su posterior elevación mediante bombeo, evitando así la profundización excesiva de la red de alcantarillado. La capacidad de cada cárcamo y los consumos de energía que se requieren durante el bombeo del caudal de diseño, se indican en el *cuadro 4.7*. Cada uno de los cárcamos de bombeo propuestos, requiere de la instalación de dos equipos de bombeo sumergibles con impulsor de tipo centrífugo con la potencia mostrada en el cuadro 4.7. Esta recomendación obedece a que uno de los equipos se usará como relevo cuando se le de mantenimiento al otro y para evitar el desbordamiento del cárcamo durante los periodos en los cuales el caudal es mayor que el de diseño. El

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

análisis de los costos y características de cárcamos y bombas se detallan en los cuadros 4.12 y 4.13 del siguiente subcapítulo.

Cuadro 4.7 Características de los cárcamos de bombeo (alternativa 1).

Ubicación	Caudal		Volumen		Dimensiones			Potencia instalada				Consumo energético			
	m ³ /d	l/s	Útil ¹ m ³	Tot. m ³	H ² m	L ³ m	B ⁴ m	CDT ⁵ m	Q m ³ /s ⁶ 1000	P ⁶ HP [*] 1000	P ⁷ KW [*] 1000	P _{max} ⁸ HP	KwH /d ⁹ 10	\$/KW H ¹⁰	\$/d ¹¹
1 Ciencias poniente 1	4.9	0.06	0.03	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.06	4.0	3.0	0.5	0.7	0.35	0.03
2 Ciencias poniente 2	4.9	0.06	0.03	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.06	4.0	3.0	0.5	0.7	0.35	0.03
3 Facultad de Química	31.1	0.16	0.16	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.36	25.8	19.3	0.5	4.6	0.35	0.16
4 Instituto de Física	51.0	0.26	0.27	2.0	2.0	1.0	1.0	5	0.59	70.4	52.6	0.5	12.6	0.35	0.44
5 ICN ¹² poniente	5.2	0.06	0.03	1.5	1.5	1.0	1.0	2	0.06	2.9	2.1	0.5	0.5	0.35	0.02
6 ICN ¹² oriente	10.4	0.12	0.05	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.12	8.6	6.4	0.5	1.5	0.35	0.05
7 Geofísica, Geología y Geografía	48.4	0.25	0.25	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.56	40.1	30.0	0.5	7.2	0.35	0.25
8 Fisiología Celular poniente	17.7	0.21	0.09	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.21	14.7	11.0	0.5	2.6	0.35	0.09
9 Fisiología Celular oriente	17.7	0.21	0.09	2.0	2.0	1.0	1.0	4	0.21	19.6	14.6	0.5	3.5	0.35	0.12
10 CENDI y DGAE	47.5	0.55	0.25	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.55	39.4	29.4	0.5	7.1	0.35	0.25
Total												5.0			1.44

1 El volumen útil se obtiene con la siguiente relación: $V = t \cdot q / 4$ (Metclaf & Eddy, 1996) donde V= volumen (m³), t= tiempo de funcionamiento de la bombas (s) = 30min=1800s y q = caudal (m³/s).

2 H = altura del cárcamo.

3 L = largo del cárcamo.

4 B = anchura del cárcamo.

5 CDT = carga dinámica total, es la altura a la que deberán elevar el agua residual las bombas, incluyendo pérdidas.

6 P = Potencia de la bomba (HP), es la fuerza necesaria para elevar el caudal a la altura requerida: $P = 13.13 / \eta \cdot (Q \cdot H)$ (Gardea Villegas, 1992), donde: P = potencia (HP), η = eficiencia de la bomba, en todos los casos se consideró = 55%, Q = caudal (m³/s) y H = altura dinámica total (m) que es la suma de la carga estática y pérdidas en la conducción.

7 P = Potencia de la bomba (KW): $P = 9.81 / \eta \cdot (Q \cdot H)$ (Gardea Villegas, 1992), donde: P = potencia (KW), η = eficiencia de la bomba, 55%, Q = caudal (m³/s) y H = altura o carga dinámica total (m).

8 P_{max} = Es la potencia disponible en el mercado más cercana superior a la necesaria.

9 Representa el consumo energético diario del sistema en operación.

10 Es el cargo por consumo energético, se considero un costo unitario de \$0.35/KW.

11 Es el costo diario por el consumo de energía eléctrica que requieren las bombas.

12 Instituto de Ciencias Nucleares.

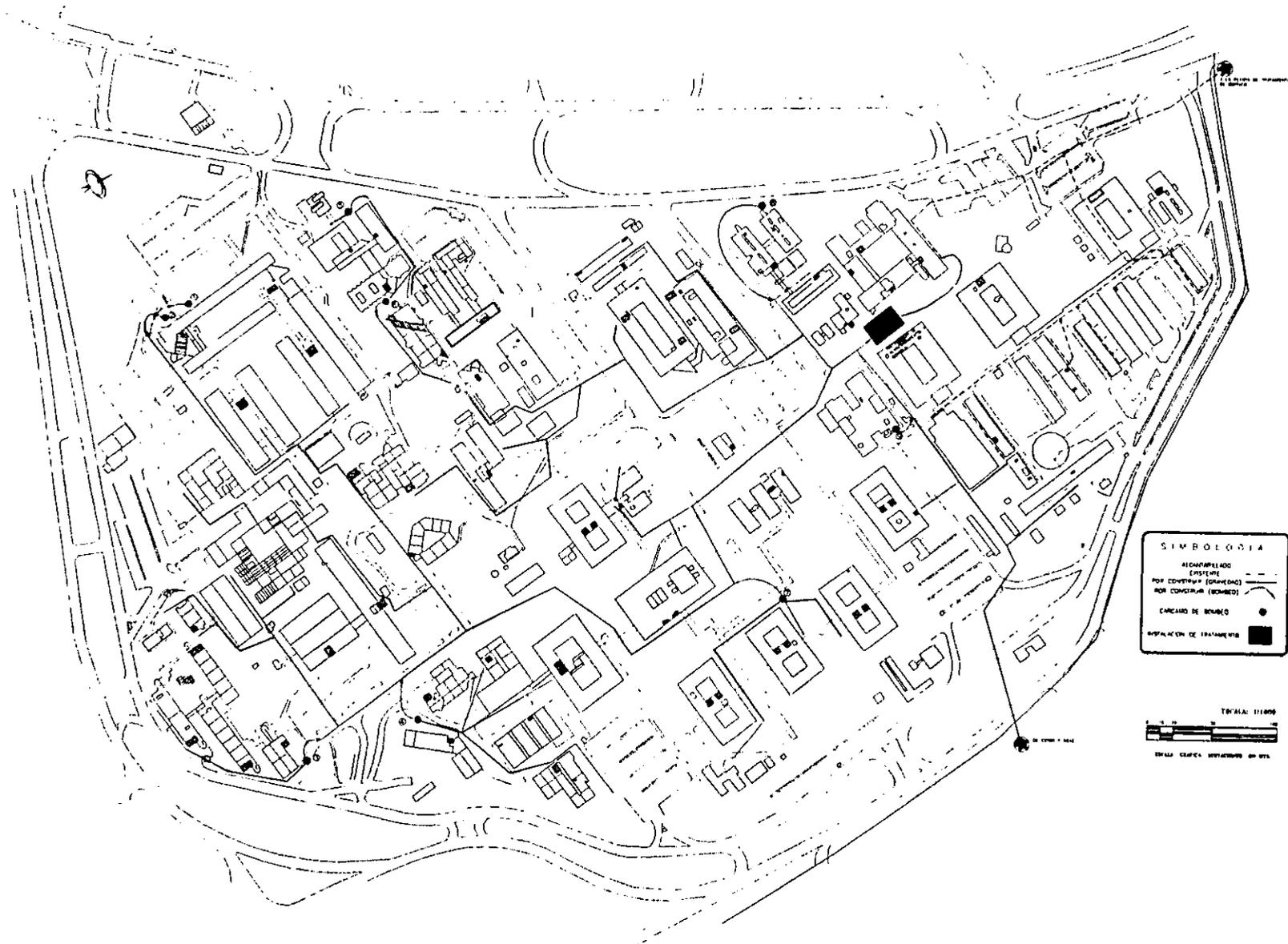


Figura 4.5 Alternativa No. 1

Alternativa No. 2: Construcción de dos plantas de tratamiento en la megamanzana de los GEOS.*Objetivo.*

Conducir del agua residual generada en la zona de los GEOS, a dos nuevas plantas de tratamiento que se ubicarán dentro de la misma zona (figura 4.6).

Longitud.

4,635 m por gravedad.

495 m por bombeo.

*Componentes.*2 plantas para el tratamiento de las aguas residuales.

Ambas plantas tendrán un tren de tratamiento biológico basado en reactores aerobios de biomasa fija sumergida con tratamiento de los lodos generados en el proceso:

Tratamiento del agua residual. Pretratamiento, tanque de homogeneización, reactor aerobio de biomasa fija sumergida y tanque de cloración.

Tratamiento de lodos. Estabilización, acondicionamiento y compactación).

- Planta sur (1).- Se ubicará al nororiente del estacionamiento del Instituto de Física. La capacidad de tratamiento instalada de esta planta será de 4.41 l/s.
- Planta norte (2).- Se ubicará al norte del estacionamiento del Instituto de Geología (al oriente de la Biblioteca de la Facultad de Medicina Veterinaria). La capacidad de tratamiento instalada de esta planta será de 4.36 l/s.

Sistema de drenaje.

Estará conformado por dos subsistemas que se describen a continuación:

- Subsistema sur. Formado por un colector que recorre la parte sur de la megamanzana de poniente a oriente desde la Facultad de ciencias a la planta sur. El colector recibe la descarga de 4 interceptores, que son de poniente a oriente:
 - Ciencias poniente.- ubicado al poniente de la Facultad de Ciencias.
 - Ciencias oriente.- ubicado al oriente de la Facultad de Ciencias.
 - Física poniente.- ubicado al poniente del Instituto de Física.
 - Física oriente.- ubicado al oriente del Instituto de Física.
- Subsistema norte. Formado por 3 interceptores que captan las aguas residuales de la zona centro y norte. Los interceptores son de sur a norte:
 - Materiales-Astronomía.- se puede dividir en dos partes, la parte occidental que se ubica de la parte intermedia de los institutos de materiales y astronomía a la parte poniente del Instituto de Geología y tiene dirección poniente-oriente, de ese punto a la planta norte y con dirección sur-norte se ubica la segunda parte oriental del interceptor. Además el interceptor cuenta con dos derivaciones la primera en la parte occidental en el

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

estacionamiento de los institutos de astronomía y materiales, la segunda está entre la Dirección General de Bibliotecas y el Instituto de Geofísica y llega a la intersección de las partes occidental y oriental del interceptor.

- Química-veterinaria.- Se ubica de la parte intermedia de los institutos de Química y Fisiología Celular (parte antigua) a la planta norte.
- Interceptor norte, que recupera las aguas residuales generadas en la zona de la megamanzana que cuenta con sistema de alcantarillado, evitando así que salgan de la zona y sean tratadas en la misma en vez de ser tratadas en la planta de Copilco.

9 cárcamos con estaciones de bombeo.

Las características y consumos de energía eléctrica requeridos durante la operación del sistema se describen en el cuadro 4.8.

Cuadro 4.8 Características de los cárcamos de bombeo (alternativa 2).

Ubicación	Caudal		Volumen		Dimensiones			Potencia instalada					Consumo energético		
	m ³ /d	l/s	Util ¹ m ³	Tot. m ³	H ² m	L ³ m	B ⁴ m	CDT ⁵ m	Q m ³ /s* 1000	P ⁶ HP* 1000	P ⁷ KW* 1000	P _{dis} ⁸ HP	Kwh /d ⁹ 10	\$/KW H ¹⁰	\$/d ¹¹
1 Ciencias poniente 1	4.9	0.06	0.03	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.06	4.0	3.0	0.5	0.7	0.35	0.03
2 Ciencias poniente 2	4.9	0.06	0.03	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.06	4.0	3.0	0.5	0.7	0.35	0.03
3 Facultad de Química	31.1	0.36	0.16	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.36	25.8	19.3	0.5	4.6	0.35	0.16
4 Instituto de Física	51.0	0.59	0.26	2.0	2.0	1.0	1.0	5	0.59	70.4	52.6	0.5	12.6	0.35	0.44
5 ICN ¹² poniente	5.2	0.06	0.03	1.5	1.5	1.0	1.0	2	0.06	2.9	2.1	0.5	0.5	0.35	0.02
6 ICN ¹² oriente	10.4	0.12	0.05	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.12	8.6	6.4	0.5	1.5	0.35	0.05
7 Fisiología Celular poniente	17.7	0.21	0.09	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.21	14.7	11.0	0.5	2.6	0.35	0.09
8 Fisiología Celular oriente	17.7	0.21	0.09	2.0	2.0	1.0	1.0	4	0.21	19.6	14.6	0.5	3.5	0.35	0.12
9 CENDI y DGAE	47.5	0.55	0.25	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.55	39.4	29.4	0.5	7.1	0.35	0.25
Total												4.5			1.19

1 El volumen útil se obtiene con la siguiente relación: $V = t \cdot q / 4$ (Metclaf & Eddy, 1996) donde V= volumen (m³), t= tiempo de funcionamiento de la bombas (s) = 30min=1800s y q = caudal (m³/s).

2 H = altura del cárcamo.

3 L = largo del cárcamo.

4 B = anchura del cárcamo.

5 CDT = carga dinámica total, es la altura a la que deberán elevar el agua residual las bombas, incluyendo pérdidas.

6 P = Potencia de la bomba (HP), es la fuerza necesaria para elevar el caudal a la altura requerida: $P = 13.13/\eta \cdot (Q \cdot H)$ (Gardea Villegas, 1992), donde: P = potencia (HP), η = eficiencia de la bomba, en todos los casos se consideró = 55%, Q = caudal (m³/s) y H = altura dinámica total (m) que es la suma de la carga estática y pérdidas en la conducción.

7 P = Potencia de la bomba (KW): $P = 9.81/\eta \cdot (Q \cdot H)$ (Gardea Villegas, 1992), donde: P = potencia (KW), η = eficiencia de la bomba, 55%, Q = caudal (m³/s) y H = altura o carga dinámica total (m).

8 P_{dis} = Es la potencia disponible en el mercado más cercana y superior a la necesaria.

9 Representa el consumo energético diario del sistema en operación.

10 Es el cargo por consumo energético, se considero un costo unitario de \$0.35/KW.

11 Es el costo diario por el consumo de energía eléctrica que requieren las bombas.

12 Instituto de Ciencias Nucleares.

Los costos y características de bombas y cárcamos de esta alternativa se detallan en los cuadros 4.17 al 4.19 del siguiente subcapítulo.

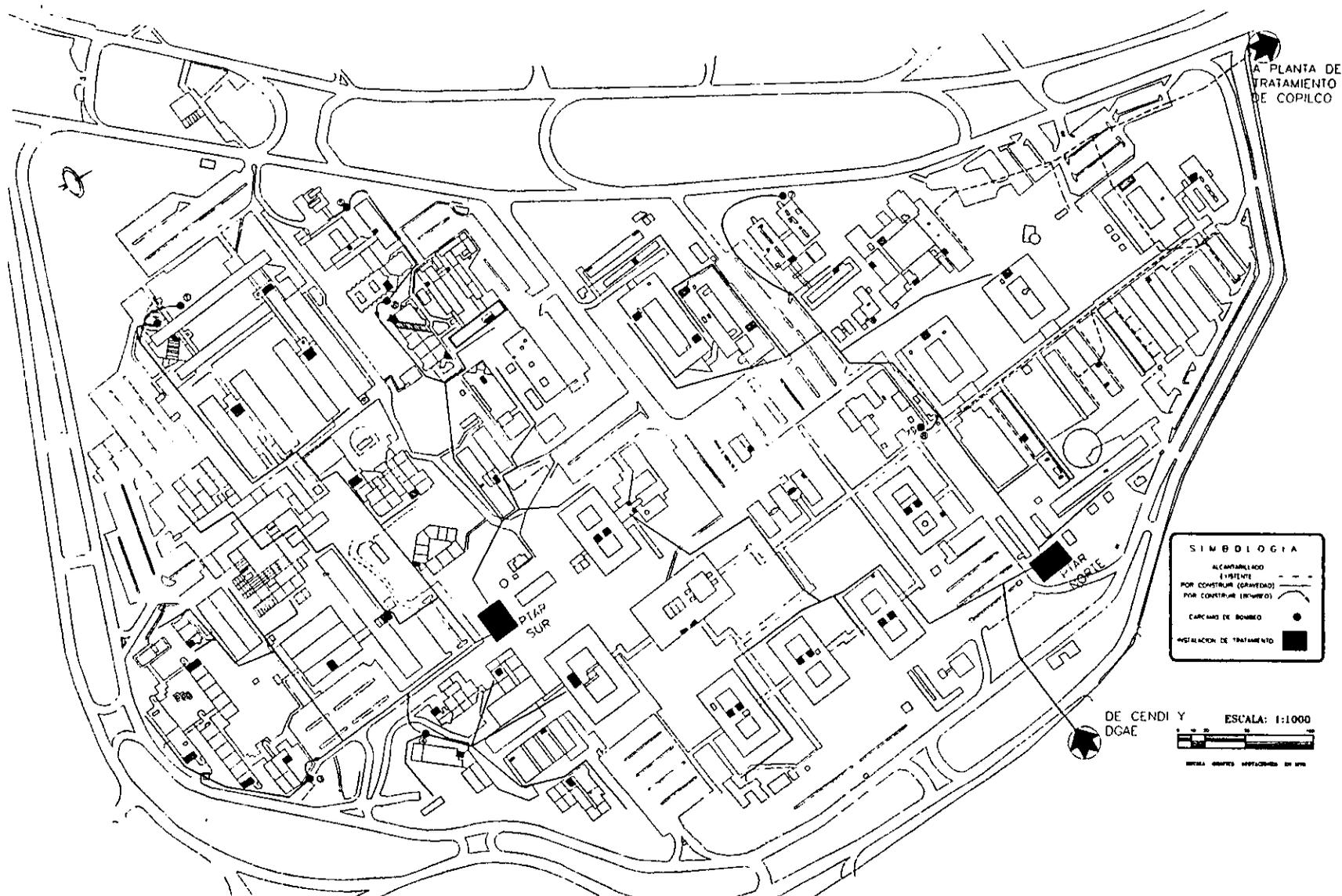


Figura 4.6 Alternativa 2.

Alternativa No. 3: *Construcción de una planta de tratamiento en la megamanzana de los GEOS.*

Objetivo.

Conducir del agua residual de los edificios que no cuentan con red de alcantarillado a una planta de tratamiento biológico que se construirá dentro de la megamanzana de los GEOS (figura 4.7).

Longitud.

4,370 m por gravedad
495 m por bombeo

Componentes.

1 planta para el tratamiento del agua residual.

Ubicada al oriente del estacionamiento del Instituto de Geografía. La planta consta de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario (de tipo biológico aerobio) y tratamiento de lodos (estabilización, acondicionamiento y compactación). La capacidad de diseño de esta planta será de 8.77 l/s.

Sistema de drenaje.

Está conformado por dos subsistemas que se describen a continuación:

- Subsistema sur. Recoge las descargas de las dependencias que no cuentan con drenaje sanitario, conduciéndolas hacia la planta de tratamiento.
- Subsistema norte. Formado por 2 interceptores que captan las aguas residuales de algunos edificios de la Facultad de Medicina Veterinaria que no cuentan con drenaje.

9 cárcamos con estaciones de bombeo

Las características y consumos de energía eléctrica requeridos durante la operación del sistema se describen en el *cuadro 4.9*. El cálculo de los costos de implantación, adquisición y operación de cárcamos y equipos de bombeo se detalla en los cuadros 4.22, 4.23 y 4.24 del siguiente subcapítulo. El número de bombas recomendado es de 2 en cada cárcamo, para que una de ellas funcione como equipo de relevo.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Cuadro 4.9 Características de los cárcamos de bombeo (alternativa 3).

Ubicación	Caudal		Volumen		Dimensiones			Potencia instalada					Consumo energético		
	m ³ /d	l/s	Util ¹ m ³	Tot. m ³	H ² m	L ³ m	B ⁴ m	CDT ⁵ m	Q m ³ /s* 1000	P ⁶ HP* 1000	P ⁷ KW* 1000	P _{mot} ⁸ HP	KwH /d ⁹ * 10	\$/KW H ¹⁰	\$/d ¹¹
1 Ciencias poniente 1	4.9	0.06	0.06	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.06	4.0	3.0	0.5	0.7	0.35	0.03
2 Ciencias poniente 2	4.9	0.06	0.06	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.06	4.0	3.0	0.5	0.7	0.35	0.03
3 Facultad de Química	31.1	0.36	0.36	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.36	25.8	19.3	0.5	4.6	0.35	0.16
4 Instituto de Física	51.0	0.59	0.59	2.0	2.0	1.0	1.0	5	0.59	70.4	52.6	0.5	12.6	0.35	0.44
5 ICN ¹² poniente	5.2	0.06	0.06	1.5	1.5	1.0	1.0	2	0.06	2.9	2.1	0.5	0.5	0.35	0.02
6 ICN ¹² oriente	10.4	0.12	0.12	1.5	1.5	1.0	1.0	3	0.12	8.6	6.4	0.5	1.5	0.35	0.05
7 Fisiología Celular poniente	17.7	0.21	0.21	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.21	14.7	11.0	0.5	2.6	0.35	0.09
8 Fisiología Celular oriente	17.7	0.21	0.21	2.0	2.0	1.0	1.0	4	0.21	19.6	14.6	0.5	3.5	0.35	0.12
9 CENDI y DGAE	47.5	0.55	0.55	2.0	2.0	1.0	1.0	3	0.55	39.4	29.4	0.5	7.1	0.35	0.25
Total												4.5			1.19

1 El volumen útil se obtiene con la siguiente relación: $V = t \cdot q / 4$ (Metclaf & Eddy, 1996) donde V= volumen (m³), t= tiempo de funcionamiento de la bombas (s) = 30min=1800s y q = caudal (m³/s).

2 H = altura del cárcamo.

3 L = largo del cárcamo.

4 B = anchura del cárcamo.

5 CDT = carga dinámica total, es la altura a la que deberán elevar el agua residual las bombas, incluyendo pérdidas.

6 P = Potencia de la bomba (HP), es la fuerza necesaria para elevar el caudal a la altura requerida: $P = 13.13 / \eta \cdot (Q \cdot H)$ (Gardea Villegas, 1992), donde: P = potencia (HP), η = eficiencia de la bomba, en todos los casos se consideró = 55%, Q = caudal (m³/s) y H = altura dinámica total (m) que es la suma de la carga estática y pérdidas en la conducción.

7 P = Potencia de la bomba (KW): $P = 9.81 / \eta \cdot (Q \cdot H)$ (Gardea Villegas, 1992), donde: P = potencia (KW), η = eficiencia de la bomba, 55%, Q = caudal (m³/s) y H = altura o carga dinámica total (m).

8 P_{mot} = Es la potencia disponible en el mercado más cercana y superior a la necesaria.

9 Representa el consumo energético diario del sistema en operación.

10 Es el cargo por consumo energético, se considero un costo unitario de \$0.35/KW.

11 Es el costo diario por el consumo de energía eléctrica que requieren las bombas.

12 Instituto de Ciencias Nucleares.

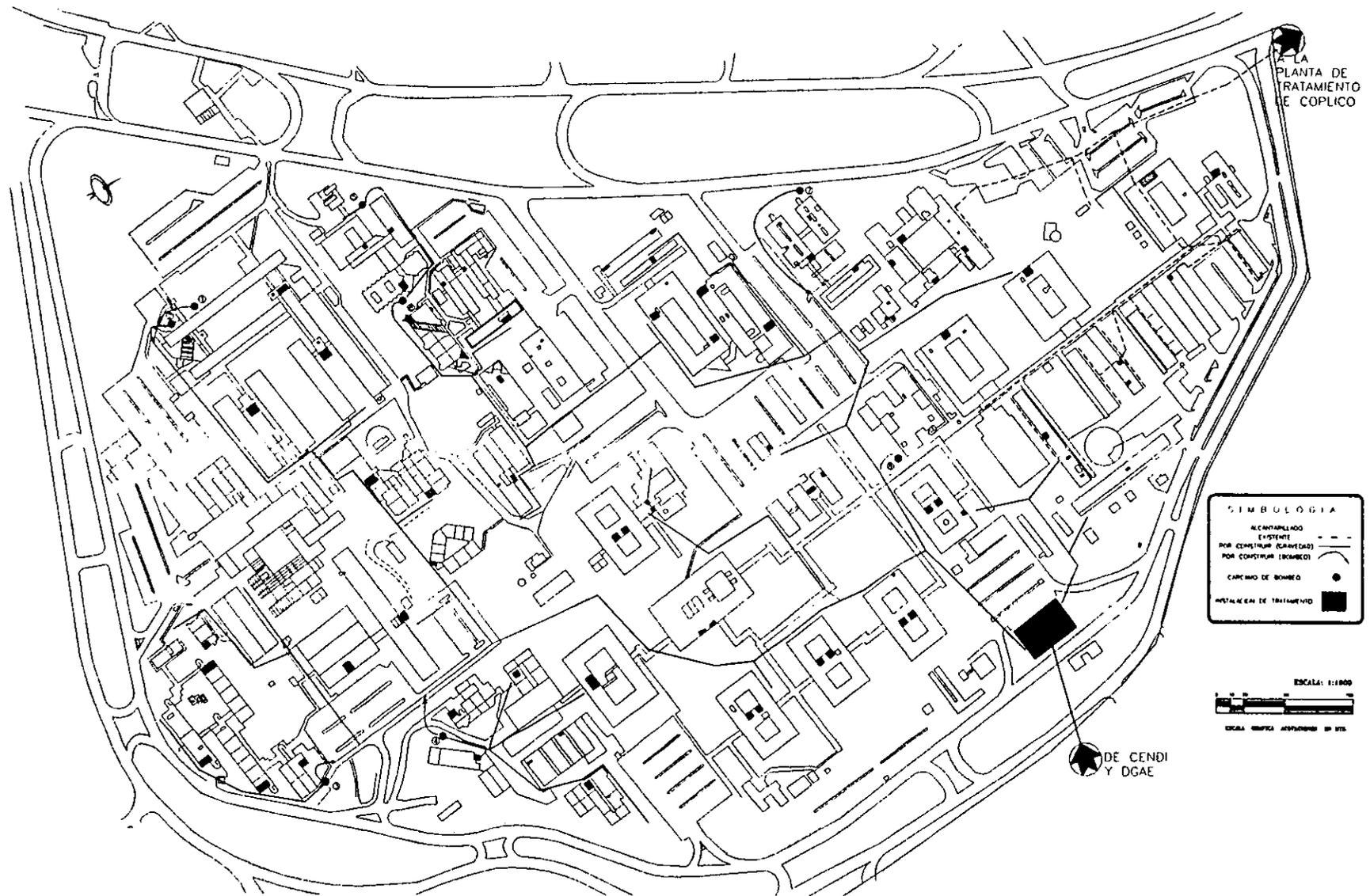


Figura 4.7 Alternativa 3.

4.4.2 Análisis económico

Dado que el objetivo de dar tratamiento a las aguas residuales de la megamanzana de los GEOS, obedece a razones ecológicas más que económicas, el análisis económico tiene como objeto definir los costos de operación e implantación de las alternativas estudiadas y compararlos para definir la alternativa más factible únicamente en términos de dichos costos y sin ponderar las posibles entradas por concepto de venta de subproductos del tratamiento (lodos) o por el pago de la cantidad de agua residual tratada. A continuación se describe el cálculo de los costos de operación e implantación de cada una de las alternativas.

Alternativa 1

Los costos de implantación de cada una de las alternativas implican los costos de construcción de una red de drenaje para la conducción del agua residual a la planta y costos de implantación de un sistema para el almacenamiento del agua residual generada en la zona. En este sentido, se hace un desglose de los conceptos considerados para el cálculo de la red y posteriormente del sistema de almacenamiento.

Costos de implantación de la red de drenaje.

La red de drenaje requerida para la implantación de esta alternativa tiene una longitud total de 4,925 m de los cuales 4,230 m corresponden a una conducción por gravedad y 695 m a conducciones por bombeo. A continuación se muestran los cálculos para la conducción por gravedad.

Cuadro 4.10 Costos de implantación de la conducción por gravedad (alternativa 1).

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Suministro de tubería de concreto simple 0,30 m de diámetro marca DYSA, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	4,230.0	40.00	169,200.00
Instalación de tubería de concreto de 0,30 m de diámetro. Incluye maniobra para bajar la tubería, alineamiento, herramienta, mortero cemento-arena 1:4 para junteo de tubería y prueba hidráulica.	ml	4,230.0	10.00	42,300.00
Excavación de cepas con compresor en terreno tipo III, con extracción manual del material excavado y afine del terreno con profundidad promedio de 2.00 m.	m ³	6,768.0	125.00	846,000.00
Cama de tezontle de 0.15 m de espesor para recibir tubería. Incluye suministro, colocación y acarreo.	m ³	507.6	80.00	40,608.00
Acostillado de tubo de concreto con tepetate compactado hasta el nivel de campana con pisón de mano. Incluye suministro, colocación y herramienta.	m ³	1,415.0	60.00	84,899.65
Relleno de tepetate compactado al 90% Proctor, en capas de 0.30m de espesor hasta alcanzar el nivel de proyecto. Incluye incorporación de agua necesaria, suministro, colocación, mano de obra y acarreos.	m ³	2,704.5	59.00	159,563.04
Demolición de pavimentos de concreto simple de 0.10 m de espesor, incluye corte con disco.	m ²	164.0	300.00	49,200.00
Reposición de pisos de concreto simple f'c = 200 Kg/cm ² de 0.1 m de espesor terminado lavado, incluye material y mano de obra.	m ²	164.0	373.40	61,237.60
Demolición de piso de concreto asfáltico de 0.1 m de espesor con cuña y marro, incluye corte con disco.	m ²	432.0	300.00	129,600.00
Reposición de pavimento de concreto asfáltico de 0.1 m de espesor. Incluye suministro, colocación de carpeta, riego de impregnación y riego de liga.	m ²	432.0	592.68	256,037.76
Acarreo con carretilla de material producto de la excavación del lugar de excavación al lugar de carga del camión, con distancia promedio de 60m. Material medido en banco.	m ³	4,063.5	10.00	40,635.41
Acarreo en camión con carga a mano del material producto de la excavación, fuera de C.U (tiradero del D.F.). Material medido en banco.	m ³	4,063.5	32.00	130,033.31
Construcción de pozos de visita sobre tubos de 0.3 m de diámetro con muros de tabique rojo recocido colocado a tizón con mortero cemento-arena 1:4 terminado pulido con escalones de fo. fo. Incluye meseta a ambos lados de la media caña para mantenimiento. La profundidad del pozo es de 2.0 m, el diámetro en el fondo es de 1.20 m y en la parte superior de 0.6 m.	Pza.	88.0	1,550.00	136,400.00
TOTAL				2,145,714.78

Precios Unitarios proporcionados por: Constructora Parel, S.A. y tubos DYSA, precios vigentes durante noviembre de 1998.

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

Cuadro 4.11 Costos de implantación de la tubería de polietileno de alta densidad (alternativa 1).

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Suministro de tubería de polietileno de alta densidad de 0.10 m de diámetro marca DRISCOPIPE con relación R/D = 17, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	m	545.0	40.39	22,012.55
Suministro de tubería de polietileno de alta densidad de 0.20 m de diámetro marca DRISCOPIPE con relación R/D = 41, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	m	150.0	82.29	12,343.50
Instalación de tubería de 0.10 y 0.15 m de diámetro. Incluye maniobra para bajar la tubería, alineamiento, herramienta para junteo de tubería y prueba hidráulica.	m	695.0	10.00	6,950.00
Excavación de cepas con compresor en terreno tipo III, con extracción manual del material excavado y afine del terreno con profundidad promedio del proyecto de 1.0 m.	m ³	556.0	125.00	69,500.00
Cama de tezontle de 0.15 m de espesor para recibir tubería. Incluye suministro, colocación y acarreo	m ³	83.4	80.00	6,672.00
Acostillado de tubo de polietileno de alta densidad con tepetate compactado con pisón de mano. Incluye suministro, colocación y herramienta	m ³	266.0	60.00	15,960.00
Relleno de tepetate compactado al 90% Proctor, en capas de 0.30m de espesor hasta alcanzar el nivel de proyecto. Incluye incorporación de agua necesaria, suministro, colocación, mano de obra y acarreos	m ³	439.5	59.00	25,930.50
Acarreo con carretilla de material producto de la excavación del lugar de excavación al lugar de carga del camión, con distancia promedio de 60m	m ³	987.1	10.00	9,871.00
Acarreo en camión con carga a mano del material producto de la excavación, fuera de C.U (tiradero del D.F.)	m ³	987.1	32.00	31,587.20
TOTAL				200,826.75

Fuente: Constructora Parel, S.A. y DRISCOPIPE MEXICANA, precios vigentes durante noviembre de 1998.

Cuadro 4.12 Costo de construcción de los cárcamos de bombeo (alternativa 1).

Capacidad m ³	No	P.U.	Costo
2	6	5,200.00	31,200.00
1.5	4	4,600.00	18,400.00
TOTAL			49,600.00

Fuente: Constructora Parel, S.A.

Cuadro 4.13 Costo de adquisición del equipo de bombeo (alternativa 1).

Modelo	Potencia HP	No	P.U.	Adicionales por bomba ¹	Costo
MW500	0.5	20	5,620.20	0.00	113,204.00
TOTAL					113,204.00

FUENTE: Provedora y sistemas de bombeo, S.A. de C.V. Precios vigentes durante noviembre de 1998.

¹ Los costos adicionales por bomba incluyen peras de nivel, tubería de acero al carbón para instalación y válvulas necesarias para su operación. En el caso de las bombas de 0.5 HP, todo este equipo se incluye en la cotización por lo que no se requiere un desembolso adicional.

Costo de implantación de la estructura para el almacenamiento.

El sistema de almacenamiento estará conformado por un cárcamo de bombeo al cual llegará por gravedad el agua de la zona de los GEOS, del cárcamo se elevará el agua residual hacia la estructura de almacenamiento en donde el agua tendrá un tiempo de residencia aproximado de 12h. Para reducir la sedimentación de partículas y la producción olores en esta estructura se colocarán 2 agitadores mecánicos de 0.5 HP (figura 4.8). Las dimensiones de las estructuras se indican en el cuadro 4.14 y los costos estimados para su implantación se resumen en el cuadro 4.15. Para la obtención de los costos de implantación se consideraron únicamente los costos del concreto hidráulico con cemento tipo II, bombeable y con impermeabilizante integral, el acero de refuerzo, excavación a mano, acerros y rellenos; además de costos de procuración de equipos y costos de instalación mecánica. El costo sistema que se muestra en este trabajo no considera obras exteriores como cercado, caseta ni cualquier obra ajena al sistema como caminos de acceso.

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

Cuadro 4.14 Dimensiones de las estructuras del sistema de almacenamiento.

Cárcamo de bombeo		Estructura de almacenamiento.	
Volumen útil (m ³):	4.0	Volumen útil (m ³):	909.3
Altura útil (m):	2.7	Altura útil (m):	3.5
Bordo libre (m):	0.5	Bordo libre (m):	0.5
Altura total (m):	3.2	Altura total (m):	4.0
Ancho (m):	1.0	Ancho (m):	11.5
Largo (m):	1.5	Largo (m):	23.0

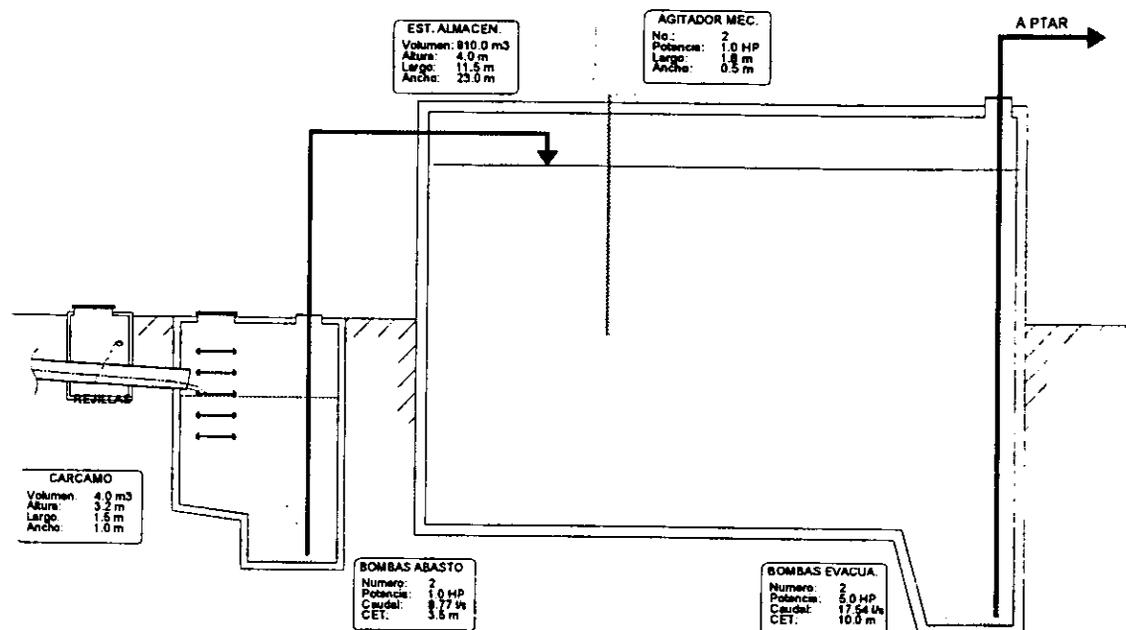


Figura 4.8 Diagrama esquemático del proceso de almacenamiento del agua residual.

Cuadro 4.15 Costos de implantación del sistema de almacenamiento.

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
OBRA CIVIL				
Trazo y nivelación del terreno.	m ²	300.0	3.25	975.00
Concreto premezclado con cemento tipo II, bombeable y con impermeabilizante integral. Incluye suministro y colocación.	m ³	157.3	1,350.00	212,355.00
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm ² . Incluye suministro, habilitado y mano de obra.	Ton	11.5	5,500.00	62,233.50
Cimbra acabado aparente. Incluye colocación, mano de obra y descimbrado.	m ²	1,040.0	70.00	72,800.00
Excavación manual en material tipo III. Medido en banco. Incluye afine y estiva de material alrededor de la excavación.	m ³	900.9	125.00	112,612.50
Acarreo de material a tiradero fuera de la obra. Incluye acarreo en carretilla, carga a camión y descarga.	m ³	666.1	42.00	27,976.20
Rellenos con material producto de excavación. Medido en banco.	m ³	234.8	15.00	3,522.00
Rellenos con tepetate compactado en capas de 0.15m. Incluye suministro y colocación.	m ³	53.4	103.00	5,496.18
SUBTOTAL OBRA CIVIL				497,970.38
OBRA MECÁNICA (Tuberías y accesorios, 30% de la Obra Civil¹)				149,391.11
OBRA ELÉCTRICA (40% de la Obra Civil¹)				199,188.15
TOTAL OBRA A COSTO DIRECTO				846,549.65
SUMINISTRO DE EQUIPOS				
Bomba sumergible mca. Meyers, mod. MW1000, para abasto de la estructura de tratamiento. Pot. 1 HP. CET. 5m.	Pza.	2.0	11,775.00	23,550.80
Agitador mecánico de 0.5 HP en estructura de almacenamiento para mezclado de aguas residuales.	Pza.	2.0	15,000.00	30,000.00

Cuadro 4.15 Costos de implantación del sistema de almacenamiento (continuación).

<i>Concepto</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>P.U.</i>	<i>Costo</i>
Bomba sumergible mca. Meyers, mod. MW5000, para desalajo de la estructura de tratamiento. Pot. 5 HP. CET. 10m.	Pza.	2.0	13,642.00	27,284.00
SUBTOTAL SUMINISTRO DE EQUIPOS				80,834.80
COLOCACIÓN EQUIPOS (5% DEL SUMINISTRO)				4,041.74
INTRUMENTACIÓN (1.3% del Suministro de Equipos¹)				1,050.85
PRUEBAS PREOPERACIONALES (4.0 % del Suministro de Equipos¹)				3,233.39
TOTAL				935,710.43

Precios Unitarios proporcionados por: Constructora Parel, S.A. y Proveedora y sistemas de Bombeo S.A. de C.V., precios vigentes durante noviembre de 1998.

¹ Los porcentajes fueron tomados de una cotización presentada por Quimicagua, S.A. de C.V. para la instalación y puesta en marcha de una planta de tratamiento de aguas residuales, en 1996.

Costos de operación y mantenimiento.

Ya que esta alternativa considera el almacenamiento de las aguas residuales durante el día para enviarlas durante la noche a la planta de tratamiento, se requieren equipos de aireación y agitación para evitar la sedimentación de los contaminantes del agua residual durante su estancia, además de evitar en la medida de lo posible descomposición anaerobia en el mismo. Para el cuidado de los equipos se requiere un operador que trabaje de manera continua. La UNAM maneja en este tipo de instalaciones dos turnos de 12 horas durante 4 días de la semana y un turno adicional para cubrir los días de la semana faltantes, por lo que se debe considerar el pago de tres operadores. Adicionalmente la operación de la planta requiere de erogaciones por consumo de energía eléctrica, reactivos químicos y mantenimiento (cuadro 4.16). Los costos de operación para el tratamiento no se consideran en este análisis, ya que actualmente la UNAM tiene contemplado el costo de operación de la planta de tratamiento de Copilco que es en donde se depurará el agua residual de la zona de los GEOS. Además la entrada adicional de agua a dicha planta servirá para sustituir una parte del caudal que le falta a la planta para operar a la capacidad de diseño.

Cuadro 4.16 Costos de operación y mantenimiento (alternativa 1).

<i>Concepto</i>	<i>Mensual</i>	<i>Anual</i>
Salarios		
No. operadores: 3	\$ 8,658.00	\$ 103,896.00
Salario mensual: \$ 2,886.00		
Energía		
Costo (\$/KWH): 0.35	2,066.95 KWH \$ 723.43	24,803.39 ¹ KWH \$ 8,861.00
Insumos químicos		
No requiere		
Mantenimiento		
(1% de la inversión en base anual. Popper, 1970)	\$ 2,870.88	\$ 34,450.56

¹ Se calcula como la potencia requerida diariamente para elevar el caudal de diseño (periodo escolar de lunes a viernes), multiplicada por 247.89 días que es el número de días que anualmente tienen descarga de diseño.

Alternativa 2

Costos de implantación.

La red de drenaje requerida para la implantación de esta alternativa tiene una longitud total de 5,130 m de los cuales 4,635 m corresponden a una conducción por gravedad y 495 m a conducciones por bombeo. A continuación se muestran los cálculos para la conducción por gravedad (cuadro 4.17) y para la conducción por bombeo (cuadro 4.18).

Cuadro 4.17 Costos de implantación de la conducción por gravedad (alternativa 2).

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Suministro de tubería de concreto simple 0,30 m de diámetro marca DYSA, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	4,635.0	40.00	185,400.00
Instalación de tubería de concreto de 0,30 m de diámetro. Incluye maniobra para bajar la tubería, alineamiento, herramienta, mortero cemento-arena 1:4 para juntas de tubería y prueba hidráulica.	ml	4,635.0	10.00	46,350.00
Excavación de cepas con compresor en terreno tipo III, con extracción manual del material excavado y afine del terreno con profundidad promedio de 2.00 m.	m ³	7,416.0	125.00	927,000.00
Cama de tezontle de 0.15 m de espesor para recibir tubería. Incluye suministro, colocación y acarreo.	m ³	556.2	80.00	44,496.00
Acostillado de tubo de concreto con tepetate compactado hasta el nivel de campana con pisón de mano. Incluye suministro, colocación y herramienta.	m ³	1,550.5	60.00	93,028.34
Relleno de tepetate compactado al 90% Proctor, en capas de 0.30m de espesor hasta alcanzar el nivel de proyecto. Incluye incorporación de agua necesaria, suministro, colocación, mano de obra y acarreos.	m ³	2,963.4	59.00	174,840.35
Demolición de pavimentos de concreto simple de 0.10 m de espesor, incluye corte con disco.	m ²	164.0	300.00	49,200.00
Reposición de pisos de concreto simple f'c = 200 Kg/cm ² de 0.1 m de espesor terminado lavado, incluye material y mano de obra.	m ²	164.0	373.40	61,237.60
Demolición de piso de concreto asfáltico de 0.1 m de espesor con cuña y marro, incluye corte con disco.	m ²	432.0	300.00	129,600.00
Reposición de pavimento de concreto asfáltico de 0.1 m de espesor. Incluye suministro, colocación de carpeta, riego de impregnación y riego de liga.	m ²	432.0	592.68	256,037.76
Acarreo con carretilla de material producto de la excavación del lugar de excavación al lugar de carga del camión, con distancia promedio de 60m. Material medido en banco.	m ³	4,452.6	10.00	44,526.03
Acarreo en camión con carga a mano del material producto de la excavación, fuera de C.U (tiradero del D.F.). Material medido en banco.	m ³	4,452.6	32.00	142,483.31
Construcción de pozos de visita sobre tubos de 0.3 m de diámetro con muros de tabique rojo recocido colocado a tizón con mortero cemento-arena 1:4 terminado pulido con escalones de fo. fo. Incluye meseta a ambos lados de la media caña para mantenimiento. La profundidad del pozo es de 2.0 m, el diámetro en el fondo es de 1.20 m y en la parte superior de 0.6 m.	Pza.	96.0	1,550.00	148,800.00
TOTAL				2,302,999.40

Precios Unitarios proporcionados por: Constructora Parel, S.A. y tubos DYSA, precios vigentes durante noviembre de 1998.

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

Cuadro 4.18 Costos de implantación de la tubería de polietileno de alta densidad (alternativa 2).

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Suministro de tubería de polietileno de alta densidad de 0.10 m de diámetro marca DRISCOPIPE con relación R/D = 17, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	495.0	40.39	19,994.04
Suministro de tubería de polietileno de alta densidad de 0.20 m de diámetro marca DRISCOPIPE con relación R/D = 41, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	0.0	148.21	0.00
Instalación de tubería de 0.10 y 0.15 m de diámetro. Incluye maniobra para bajar la tubería, alineamiento, herramienta para junteo de tubería y prueba hidráulica.	ml	495.0	10.00	4,950.00
Excavación de cepas con compresor en terreno tipo III, con extracción manual del material excavado y afine del terreno con profundidad promedio del proyecto de 1.0 m.	m ³	396.0	125.00	49,500.00
Cama de tezontle de 0.15 m de espesor para recibir tubería. Incluye suministro, colocación y acarreo	m ³	59.4	80.00	4,752.00
Acostillado de tubo de polietileno de alta densidad con tepetate compactado con pisón de mano. Incluye suministro, colocación y herramienta	m ³	292.6	60.00	17,558.59
Relleno de tepetate compactado al 90% Proctor, en capas de 0.30m de espesor hasta alcanzar el nivel de proyecto. Incluye incorporación de agua necesaria, suministro, colocación, mano de obra y acarreos	m ³	167.4	59.00	9,879.27
Acarreo con carretilla de material producto de la excavación del lugar de excavación al lugar de carga del camión, con distancia promedio de 60m	m ³	396.0	10.00	3,960.00
Acarreo en camión con carga a mano del material producto de la excavación, fuera de C.U (tiradero del D.F.)	m ³	396.0	32.00	12,672.00
TOTAL				123,265.90

Fuente: Constructora Parle, S.A. y DRISCOPIPE MEXICANA, precios vigentes durante noviembre de 1998.

Cuadro 4.19 Costo de construcción de los cárcamos de bombeo (alternativa 2).

Capacidad m ³	No	P.U.	Costo
2	5	5,200.00	26,000.00
1.5	4	4,600.00	18,400.00
TOTAL			44,400.00

Fuente: Constructora Parle, S.A.

Cuadro 4.20 Costo de adquisición del equipo de bombeo (alternativa 2).

Modelo	Potencia HP	No	P.U.	Adicionales por bomba ¹	Costo
MW500	0.5	18	5,620.20	0.00	101,163.6
TOTAL					101,163.60

FUENTE: Proveedora y sistemas de bombeo, S.A. de C.V. Precios vigentes durante noviembre de 1998.

¹ Los costos adicionales por bomba incluyen peras de nivel, tubería de acero al carbón para instalación y válvulas necesarias para su operación. En el caso de las bombas de 0.5 HP, todo este equipo se incluye en la cotización por lo que no se requiere un desembolso adicional.

El costo de implantación de las plantas de tratamiento para el agua residual generada en la zona de los GEOS, se puede calcular de manera indirecta. Una práctica común es la de utilizar la regla de los seis décimos (Popper, 1970). Esta consiste en calcular el costo o requerimientos de energía de una planta de cualquier tipo de procesos en base a el costo de una planta similar cuyo costo es conocido. La relación utilizada es:

$$P_2 = P_1 * (C_2/C_1)^{0.6}$$

Donde:

P₂ = Precio que se desea calcular.

P₁ = Precio conocido de una planta de proceso similar.

C₂ = Capacidad de la nueva planta.

C₁ = Capacidad de la planta conocida.

En este caso particular se tiene la referencia de una planta de proceso similar (biomasa fija sumergida con tratamiento de los lodos generados), para el tratamiento de los desechos líquidos

Análisis técnico-económico para la localización de la planta de tratamiento de las aguas residuales

de otras instituciones educativas de Ciudad Universitaria. Dicha planta tiene una capacidad instalada de 7.5 l/s y su costo ascendió a 2.4 MDP.

Entonces para calcular el costo de las plantas se usa la regla de los seis décimos y se obtienen los costos como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Planta sur} &= \$ 2,400,000 * (4.41(\text{l/s})/7.50(\text{l/s}))^{0.6} = \$ 1,745,169.59 \\ \text{Planta sur} &= \$ 2,400,000 * (4.36(\text{l/s})/7.50(\text{l/s}))^{0.6} = \$ 1,733,270.63 \\ \text{TOTAL} & \qquad \qquad \qquad \$ 3,478,440.22 \end{aligned}$$

Finalmente el costo de implantación de la alternativa incluyendo planta de tratamiento y red de drenaje, es de \$ 6,050,269.12.

Costos de operación y mantenimiento de la alternativa.

Para la operación de las plantas se recomiendan 6 operadores (3 en cada planta) y 2 laboratoristas (1 por planta). Los salarios correspondientes son de \$ 2,886.00 y \$ 3,500.00. El consumo energético se calculó como 45,326.74 KWH/año incluyendo a la red de drenaje por bombeo. Para la desinfección del efluente antes de su disposición se usará cloro a razón de 8 mg/l. El costo de suministro de un tanque de cloro de 68 Kg. es de \$ 1,224.00 (Aquarobic S.A. de C.V., 1998). El costo por mantenimiento se calcula como el 1% de la inversión en base anual (Popper, 1970).

Cuadro 4.21 Costos de operación y mantenimiento (alternativa 2).

<i>Concepto</i>	<i>Mensual</i>	<i>Anual</i>
Salarios		
Operadores: 6* \$ 2,886.00	\$ 20,816.00	\$ 249,792.00
Analistas de lab.: 2* \$3,500.00		
Energía		
Costo (\$/KWH): 0.35	3,777.23 KWH \$ 1,322.03	45,326.74 ¹ KWH \$ 15,846.36
Insumos químicos		
Cloro dosificado a razón de 8mg/l	125.25 Kg.	1,502.96 Kg.
Costo: \$18.00/Kg	\$ 2,254.44	\$ 27,053.28
Mantenimiento		
(1% de la inversión en base anual. Popper, 1970)	\$ 5,041.89	\$ 60,502.69

¹ Se calcula como la potencia requerida diariamente para elevar el caudal de diseño (periodo escolar de lunes a viernes), multiplicada por 247.89 días que es el número de días que anualmente tienen descarga de diseño.

Alternativa 3**Costos de implantación.**

La red de drenaje requerida para la implantación de esta alternativa tiene una longitud total de 4,865 m de los cuales 4,370 m corresponden a una conducción por gravedad y 495 m a conducciones por bombeo. A continuación se muestran los cálculos para la conducción por gravedad (cuadro 4.22) y para la conducción por bombeo (cuadro 4.23).

Cuadro 4.22 Costos de implantación de la conducción por gravedad (alternativa 3).

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Suministro de tubería de concreto simple 0,30 m de diámetro marca DYSA, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	4,370.0	40.00	174,800.00
Instalación de tubería de concreto de 0,30 m de diámetro. Incluye maniobra para bajar la tubería, alineamiento, herramienta, mortero cemento-arena 1:4 para junteo de tubería y prueba hidráulica.	ml	4,370.0	10.00	43,700.00
Excavación de cepas con compresor en terreno tipo III, con extracción manual del material excavado y afine del terreno con profundidad promedio de 2.00 m.	m ³	6,992.0	125.00	874,000.00
Cama de tezontle de 0.15 m de espesor para recibir tubería. Incluye suministro, colocación y acarreo.	m ³	524.4	80.00	41,952.00
Acostillado de tubo de concreto con tepetate compactado hasta el nivel de campana con pisón de mano. Incluye suministro, colocación y herramienta.	m ³	1,461.8	60.00	87,709.57
Relleno de tepetate compactado al 90% Proctor, en capas de 0.30m de espesor hasta alcanzar el nivel de proyecto. Incluye incorporación de agua necesaria, suministro, colocación, mano de obra y acarreos.	m ³	2,794.0	59.00	164,844.09
Demolición de pavimentos de concreto simple de 0.10 m de espesor, incluye corte con disco.	m ²	164.0	300.00	49,200.00
Reposición de pisos de concreto simple f'c = 200 Kg/cm ² de 0.1 m de espesor terminado lavado, incluye material y mano de obra.	m ²	164.0	373.40	61,237.60
Demolición de piso de concreto asfáltico de 0.1 m de espesor con cuña y marro, incluye corte con disco.	m ²	432.0	300.00	129,600.00
Reposición de pavimento de concreto asfáltico de 0.1 m de espesor. Incluye suministro, colocación de carpeta, riego de impregnación y riego de liga.	m ²	432.0	592.68	256,037.76
Acarreo con carretilla de material producto de la excavación del lugar de excavación al lugar de carga del camión, con distancia promedio de 60m. Material medido en banco.	m ³	4,198.0	10.00	41,980.32
Acarreo en camión con carga a mano del material producto de la excavación, fuera de C.U (tiradero del D.F.). Material medido en banco.	m ³	4,198.0	32.00	134,337.02
Construcción de pozos de visita sobre tubos de 0.3 m de diámetro con muros de tabique rojo recocido colocado a tizón con mortero cemento-arena 1:4 terminado pulido con escalones de fo. fo. Incluye meseta a ambos lados de la media caña para mantenimiento. La profundidad del pozo es de 2.0 m, el diámetro en el fondo es de 1.20 m y en la parte superior de 0.6 m.	Pza.	92.0	1,550.00	142,600.00
TOTAL				2,201,998.35

Precios Unitarios proporcionados por: Constructora Parel, S.A. y tubos DYSA, precios vigentes durante noviembre de 1998.

Cuadro 4.23 Costos de implantación de la tubería de polietileno de alta densidad (alternativa 3).

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo
Suministro de tubería de polietileno de alta densidad de 0.10 m de diámetro marca DRISCOPIPE con relación R/D = 17, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	495.0	40.39	19,994.04
Suministro de tubería de polietileno de alta densidad de 0.20 m de diámetro marca DRISCOPIPE con relación R/D = 41, incluye acarreo al lugar de la obra con distancia de 120 m.	ml	0.0	148.21	0.00
Instalación de tubería de 0.10 y 0.15 m de diámetro. Incluye maniobra para bajar la tubería, alineamiento, herramienta para junteo de tubería y prueba hidráulica.	ml	495.0	10.00	4,950.00
Excavación de cepas con compresor en terreno tipo III, con extracción manual del material excavado y afine del terreno con profundidad promedio del proyecto de 1.0 m.	m ³	396.0	125.00	49,500.00
Cama de tezontle de 0.15 m de espesor para recibir tubería. Incluye suministro, colocación y acarreo	m ³	59.4	80.00	4,752.00
Acostillado de tubo de polietileno de alta densidad con tepetate compactado con pisón de mano. Incluye suministro, colocación y herramienta	m ³	292.6	60.00	17,558.59
Relleno de tepetate compactado al 90% Proctor, en capas de 0.30m de espesor hasta alcanzar el nivel de proyecto. Incluye incorporación de agua necesaria, suministro, colocación, mano de obra y acarreo	m ³	167.4	59.00	9,879.27
Acarreo con carretilla de material producto de la excavación del lugar de excavación al lugar de carga del camión, con distancia promedio de 60m	m ³	396.0	10.00	3,960.00
Acarreo en camión con carga a mano del material producto de la excavación, fuera de C.U (tiradero del D.F.)	m ³	396.0	32.00	12,672.00
TOTAL				123,265.90

Fuente: Constructora Parel, S.A. y DRISCOPIPE MEXICANA, precios vigentes durante noviembre de 1998.

Cuadro 4.24 Costo de construcción de los cárcamos de bombeo (alternativa 3).

Capacidad m ³	No	P.U.	Costo
2	5	5,200.00	26,000.00
1.5	4	4,600.00	18,400.00
TOTAL			44,400.00

Fuente: Constructora Parle, S.A.

Cuadro 4.25 Costo de adquisición del equipo de bombeo (alternativa 3).

Modelo	Potencia HP	No	P.U.	Adicionales por bomba ¹	Costo
MW500	0.5	18	5,620.20	0.00	101,163.6
TOTAL					101,163.60

FUENTE: Proveedor y sistemas de bombeo, S.A. de C.V. Precios vigentes durante noviembre de 1998.

¹ Los costos adicionales por bomba incluyen peras de nivel, tubería de acero al carbón para instalación y válvulas necesarias para su operación. En el caso de las bombas de 0.5 HP, todo este equipo se incluye en la cotización por lo que no se requiere un desembolso adicional.

El costo de implantación de la planta de tratamiento para el agua residual generada en la zona de los GEOS, se calculará de igual manera que en la alternativa anterior. Entonces para calcular el costo de la planta con la regla de los seis décimos:

$$\text{Precio de la planta} = \$ 2,400,000 * (8.77(\text{l/s}) / 7.50(\text{l/s}))^{0.6} = \$ 2,623,530.00$$

Costos de operación y mantenimiento de la alternativa.

Para la operación de las plantas se recomiendan 3 operadores y 1 laboratoristas. Los salarios correspondientes son de \$ 2,886.00 y \$ 3,500.00. El consumo energético se calculó como 34,351.38 KWH/año incluyendo a la red de drenaje por bombeo. Para la desinfección del efluente antes de su disposición se usará cloro a razón de 8 mg/l. El costo de suministro de un tanque de cloro de 68 Kg. es de \$ 1,224.00 (Aquarobic S.A. de C.V., 1998). El costo por mantenimiento se calcula como el 1% de la inversión en base anual (Popper, 1970).

Cuadro 4.26 Costos de operación y mantenimiento (alternativa 3).

Concepto	Mensual	Anual
Salarios		
Operadores: 3* \$ 2,886.00	\$ 10,408.00	\$ 124,896.00
Analistas de lab.: 1* \$3,500.00		
Energía		
Costo (\$/KWH): 0.35	2,862.00 KWH	34,351.38 ¹ KWH
	\$ 1,001.92	\$ 12,022.98
Insumos químicos		
Cloro dosificado a razón de 8mg/l	125.25 Kg.	1,502.96 Kg.
Costo: \$18.00/Kg	\$ 2,254.44	\$ 27,053.28
Mantenimiento		
(1% de la inversión en base anual. Popper, 1970)	\$ 4,245.30	\$ 50,943.58

¹ Se calcula como la potencia requerida diariamente para elevar el caudal de diseño (periodo escolar de lunes a viernes), multiplicada por 247.89 días que es el número de días que anualmente tienen descarga de diseño.

Comparación de alternativas

En el cuadro 4.27 se resumen los costos de implantación y operación de las 3 alternativas estudiadas.

Cuadro 4.27 Costos de implantación y operación de las alternativas estudiadas.

Alternativa	Costo de implantación (\$)	Costo de operación (\$/año)
1	3.445.055.76	147,027.56
2	6.050.269.12	353,212.33
3	5.094.357.85	214,914.86

Como se muestra en el cuadro 4.27, la alternativa 1 es la alternativa más atractiva en términos económicos, ya que tiene los costos más bajos tanto de implantación como de operación. Además su implantación ayudará a mitigar el problema de generación de olores en la planta de tratamiento de Copilco. Aunque cabe mencionar que si se llegara a construir esta alternativa, hay que tomar en consideración que su construcción se realizará en una zona rodeada por edificios escolares y de investigación (por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia al oriente y el Instituto de Limnología y Ciencias del Mar al poniente), lo que implica que se debe poner especial atención en la selección de los equipos electromecánicos que se usarán en ella. Actualmente existen equipos llamados "silenciosos" cuya generación de ruido es sensiblemente menor que la de los equipos normales. Otro posible problema operativo de esta alternativa es la generación de olores durante el almacenamiento prolongado del agua residual, este olor es a tierra mojada y casi imperceptible cuando existe la suficiente cantidad de oxígeno y mezclado en el sistema por lo cual se debe considerar una tasa de aireación suficiente. Con respecto al trazado de las líneas de alcantarillado, se observa que estas no representan la típica tipología "en peine" de los sistemas municipales, esto se debe principalmente a que la distribución de los edificios es muy irregular al igual que el trazo de las calles existentes. Con respecto a la implantación de la red de alcantarillado, se deben considerar en el trazo del proyecto definitivo las rutas de las líneas de servicios existentes, poniendo especial atención en la red de fibra óptica, para evitar daños en los

mismos durante la construcción. Para ello se recomienda que en la elaboración del proyecto ejecutivo del drenaje participen las dependencias de la UNAM involucradas como la Dirección de Obras y Servicios Generales (DGOySG) y la Dirección de General de Servicios de Cómputo Académico(DGSCA).

Bibliografía

1. Anderson, James & Mikhail, Edwuard. *Introducción a la topografía*. Editorial Mc. Graw Hill. 6ª edición. México, 1987.
2. Arnal simón, Luis y Betancourt suárez, Max; *Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, ilustrado y comentado; Editorial Trillas, México, 1996.
3. Benasinni et al; *Instructivo para levantamientos topográficos*, Departamento de estudios y planeación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos; 5ª edición, México, 1963.
4. Del Moral, Manuel. *Entrevista*. Director General de Topografía, Ingeniería y Aerofotogrametría, S.C. Alpes No. 74 Cuarto piso. C.P. 01010. Col. Los Alpes. México, D.F. Tels. 6 60 98 43
5. Gardea Villegas, Humberto. *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo*. Trillas. México, 1993.
6. Kavanagh F., Barry. *Surveying with construction applications*. Prentice Hall. 3th edition. USA, 1997.
7. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento vertido y reutilización*. Traducido de la tercera edición en inglés. Tomo 1. Pp. 17-51. Primera edición en español. México. 1997.
8. Murillo Fernández, Rodrigo; *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 Ambiental. Sección Mexicana de la AIDIS. Pp 6-18.
9. Leyva Campos, Adriana; *Aspectos de la Ingeniería Civil en las plantas de tratamiento de agua residual*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1998.
10. Noyola Robles, Adalberto y Sámano, José; *Anexo Técnico para la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales*; Instituto de Ingeniería; U.N.A.M.; México, 1996.
11. Popper, H.; *Modern Cost Engineering Techniques*; Mc. Graw Hill. 1970.
12. *Procedimiento en Trabajos de Ingeniería para la Topografía y Proyecto de Drenaje GEOS entre la zona del Circuito Exterior e Investigación Científica con superficie aproximada de 80 hectáreas*. Topografía Ingeniería y Aerofotogrametría, S.C. Descripción de Trabajos para la elaboración de las bases de concurso para la licitación de los trabajos del drenaje de la zona de los GEOS. Documento Interno. México, febrero de 1998.

Capítulo 5

***PROCESO CONSTRUCTIVO
RECOMENDADO***

PROCESO CONSTRUCTIVO RECOMENDADO.

Como el contratista es el responsable del proyecto desde la etapa de diseño hasta la puesta en marcha del mismo, él elegirá los procedimientos constructivos, mismos que someterá a consideración de la DGO y SG para su aprobación. En este sentido, este capítulo únicamente reúne una serie de recomendaciones basadas en la experiencia constructiva de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, ubicada al norte de la mencionada facultad dentro de Ciudad Universitaria.

Los trabajos solicitados en el proyecto mencionado son similares a los requeridos en la construcción del proyecto de la meagamanzana de los GEOS cualquiera que sea la alternativa seleccionada e incluyen la instalación y equipamiento de una estructura para el almacenamiento o tratamiento del agua residual generada por las dependencias de la zona. Las estructuras que se deben incluir son:

- Cárcamo de bombeo.
- Pretratamiento (rejillas de desbaste y desarenador).
- Medidor de flujo.
- Tanque de homogeneización y almacenamiento.
- Estructuras de tratamiento del agua residual por vía biológica basada en un proceso aerobio de biomasa fija sumergida (en el caso de que se seleccione alguna de las alternativas que implica la construcción de planta(s) de tratamiento).

Las etapas para la construcción típicas de una planta de tratamiento de aguas residuales o de un tanque de almacenamiento de las dimensiones requeridas por el proyecto son similares y se indican en el *cuadro 5.1*.

Cuadro 5.1 Etapas para la construcción de una estructura de tratamiento.

1. Deshierbe y limpieza del terreno
2. Trazo y nivelación del terreno
3. Montaje de instalaciones provisionales (almacén, suministros de servicios y accesos)
4. Subestructura
4.1 Excavación
4.2 Plantilla de concreto
4.2 Relleno y compactación
4.3 Colocación de instalaciones subterráneas
5. Construcción de estructuras del proceso de tratamiento
5.1 Habilitado y armado de acero de refuerzo y colocación de elementos embebidos
5.2 Cimbrado
5.3 Colado del concreto
5.4 Descimbrado
5.6 Pruebas de estanqueidad
5.7 Reparaciones
6. Montajes mecánicos
6.1 Trazo y nivelación
6.2 Colocación de medios de soportación (o excavación en caso de tubería subterránea)
6.3 Montaje de equipos de proceso (mecánicos y electromecánicos)
6.4 Fabricación de tramos de tubería
6.5 Presentación de tramos en el sitio de instalación y fabricación de líneas
6.6 Colocación de válvulas e instrumentos
7. Obra eléctrica (instalación de fuerza) e instrumentación
7.1 Trazo y nivelación
7.2 Excavación
7.3 Tendido de tuberías y construcción de registros primarios
7.4 Fabricación y montaje de registros secundarios para alimentación de control y fuerza a equipos
7.5 Cableado de fuerza y control
7.6 Pruebas de equipos
7. Construcción de instalaciones auxiliares
7.1 Laboratorios
7.2 Oficinas administrativas
7.3 Edificios de servicios (subestación eléctrica, almacenes, etc.)

Cuadro 5.1 Etapas para la construcción de una estructura de tratamiento (continuación).

8. Instalación de servicios
8.1 Electricidad
8.2 Agua
8.3 Drenaje
8.4 Teléfono
9. Instalaciones de control de acceso
9.1 Caseta de control
9.2 Cerca perimetral
9.3 Cerca de entrada
10. Acabados
11. Preparación de documentos de construcción definitivos (de manera continua a lo largo del proceso de construcción)

Aunque cabe mencionar que cada proyecto es distinto, estas etapas dan un panorama general de las actividades necesarias para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales; en las que es necesaria la intervención de especialistas de diversas ramas como soldadores, albañiles, topógrafos, electricistas, especialistas en electrónica, etc.; además de ingenieros de diversas especialidades (dependiendo de la magnitud del proyecto), por lo que la dirección de este tipo de proyectos deben estar a cargo de un ingeniero con amplio conocimiento en cada una de las áreas mencionadas y con la experiencia suficiente que le permita comunicarse de una manera clara y concisa con cada uno de los especialistas que se encargarán de la erección de la obra, de manera que facilite la labor de cada uno de ellos.

Además es necesario considerar que generalmente la forma más común para la contratación de plantas de tratamiento de aguas residuales es bajo la modalidad de proyecto "llave en mano" que implica la concepción del proceso, desarrollo de ingenierías básica y de detalle, construcción, montaje electromecánico, pruebas preoperativas de equipos e instrumentos, arranque y la puesta en marcha pasando por la construcción del proyecto, lo que limita la participación de las empresas constructoras que no cuentan con un departamento de ingeniería de proceso a ser subcontratadas durante la construcción de este tipo de proyectos, o asociarse con empresas de ingeniería con experiencia en este tipo de proyectos.

En este sentido el propósito de este trabajo es dar algunas recomendaciones para la realización de las actividades de construcción de las estructuras principales de tratamiento o almacenamiento en su caso del proyecto de los GEOS en función de la experiencia registrada durante la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM, dentro de la Ciudad Universitaria que además de ser de una capacidad similar a la estructura por . Dichas actividades incluyen los trabajos para la construcción de la subestructura y de la superestructura y se describen a continuación.

5.1 Subestructura

La subestructura o cimentación es la parte de una estructura que se encuentra en contacto directo con el suelo soportante. Las funciones que cumple son la de transmitir al suelo las cargas de trabajo de manera que el suelo las pueda soportar, sin sufrir deformaciones o fallas. La cimentación debe quedar desplantada en terreno firme y protegida contra la acción de agentes externos, lo que implica excavar hasta encontrar un estrato resistente con capacidad de carga igual o mayor a la presión que se desee le transmita la estructura del edificio, y construida a suficiente profundidad para resguardarla de erosiones y desilzamientos (Díaz Infante, 1995).

Los trabajos que agrupa la construcción de la cimentación son:

- Trazo y nivelación.
- Excavaciones.
- Acarreos.
- Plantillas.
- Cimentación.

5.1.1 Trazo y nivelación

El trazo es la delimitación física del terreno que ocupará la cimentación. La nivelación es la ubicación física de las cotas o alturas de las edificaciones que se especifican en los planos del proyecto.

El transporte del trazo y los niveles indicados se puede realizar con aparatos topográficos convencionales (tránsito y nivel). Generalmente los trabajos se inician con la ubicación en el terreno del área que ocupará la estructura con la orientación indicada en planos, posteriormente se marcan en el terreno los ejes principales de la estructura con cal u otro material visible para tener referencias útiles durante la ejecución de los trabajos posteriores (figura 5.1). En el cruce de ejes se colocan "trompos" y se marcan los niveles en ellos con pintura. Posteriormente, se deben prolongar los ejes fuera del terreno que se excavará de manera que se puedan localizar después de realizada la excavación. Para realizar la nivelación se establece la cota cero de plano con base en un banco de nivel externo y a partir de dicha cota se transportan los demás niveles de la obra mediante métodos topográficos.



Figura 5.1 Trazo con cal del terreno para la planta de tratamiento para las aguas residuales de la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Una vez que la excavación se haya terminado se recomienda colocar sobre la superficie del terreno una plantilla de concreto de baja resistencia (generalmente de 100 a 150 Kg/cm²) que proporcione una superficie homogénea y lo suficientemente resistente para la ejecución de los trabajos posteriores, cuyo nivel corresponderá al de desplante de la cimentación. Posteriormente es necesario "reponer" o reubicar el la posición de la estructura dentro de la excavación, para ello se hacen algunas recomendaciones en las figura 5.2.

- Se construyen marcos de madera a los que se denomina "puentes", y al elemento horizontal "niveleta".
- Se hacen pasar sobre los ejes hilos horizontales llamados en la obra "reventones" y sujetos en sus extremos a las niveletas.
- Sobre los puntos de intersección de los ejes determinados con el tránsito, se coloca una plomada sujeta a los hilos horizontales; estos se desplazan sobre la niveleta hasta que estén exactamente sobre el punto deseado.
- Se hacen muescas en los puentes marcando los lugares donde quedaron los hilos, de manera que el trazo se pueda reponer las veces que se a necesario.
- Una vez hecha la reposición del trazo sobre la plantilla, se hincará en cada cruce de ejes un clavo cuya cabeza quedará como referencia fija.

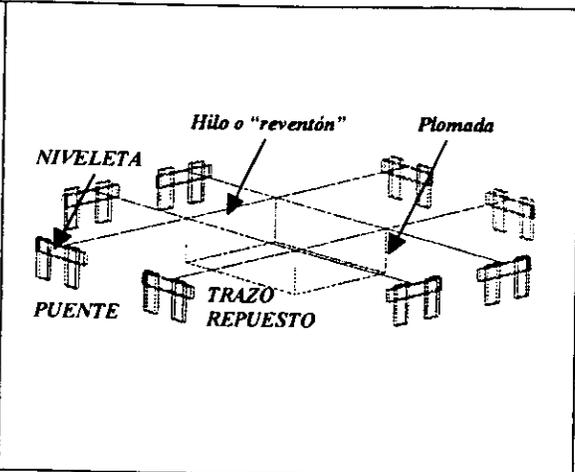


Figura 5.2 Procedimiento para la reposición del trazo.

Adaptado de Diaz Infante, 1995

Durante la ejecución de los trabajos de construcción de una edificación se pueden transportar los niveles de referencia conocidos hacia los sitios en los que se requiera se puede realizar con una manguera utilizando el principio de vasos comunicantes según lo descrito en la figura 5.3; pero en este tipo de obras es recomendable con un nivel topográfico para el control de asentamientos y expansiones del suelo durante el desarrollo del proceso constructivo, así como para verificar las posiciones de tuberías y equipos de proceso de manera que a la entrega de las instalaciones se cumplan con los niveles especificados en el proyecto y se asegure el buen funcionamiento hidráulico y de los equipos electromecánicos.

- Se utiliza una manguera de plástico transparente de 1/2" de diámetro (o lo más aproximado posible).
- Se llena directamente de un recipiente de agua mediante succión para evitar el alojamiento de burbujas de aire.
- Se coloca uno de los extremos en la marca del nivel que se desea transferir, para lo cual se sube o se baja el otro extremo de la manguera hasta que el menisco de agua coincida exactamente con la marca.
- Se traza una raya horizontal donde lo indique el nivel de agua.

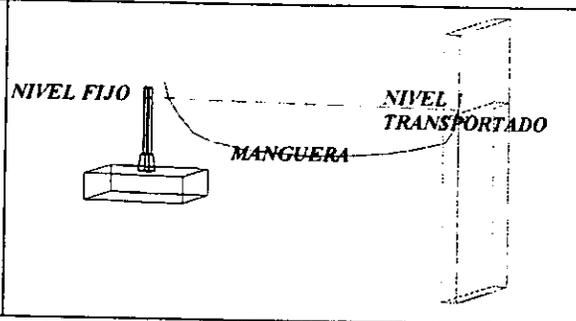


Figura 5.3 Procedimiento para el traslado de un nivel con manguera.

Adaptado de Diaz Infante, 1995

5.1.2 Excavación

Como se mencionó anteriormente (subcapítulos 1.1 y 4.1.1), el suelo de la zona de los Geos está conformado principalmente de basaltos y lavas volcánicas. Las rocas son una masa continua de materia mineral sólida, cruzada por sistemas de fallas que la dividen estructuralmente en bloques irregulares. La excavación implica la extracción y desalojo del material del subsuelo del sitio proyectado para la construcción de una edificación y cuando se realiza en roca significa una alteración de esfuerzos que provoca la alteración de esfuerzos de la masa rocosa que circundan a un proyecto que origina una redistribución de esfuerzos y sólo pueden estar equilibrados después de una falla de talud (Crimmins, 1978), por lo que hay que tomar ciertas precauciones durante la ejecución de este tipo de trabajos. La forma en que se realice una excavación depende fundamentalmente de las propiedades mecánicas del material del subsuelo y la profundidad del nivel freático.

Las propiedades del suelo determinan tanto el ángulo de corte del material subyacente como el diseño de las estructuras para el refuerzo de los muros durante el proceso de excavación. En los casos en los que los taludes de la roca sean inestables o puedan fallar por deslizamiento o movimiento súbito, es necesario soportar la excavación mediante anclajes o puntales. Los anclajes se utilizan para reforzar el talud y aliviar las tensiones que pudieran acumularse en un plano de falla y se colocan antes de iniciar la excavación de manera que la roca no tenga oportunidad de relajarse y trasladar esfuerzos a lo largo de una superficie de falla, mientras que los soportes se usan cuando se presupone la falla de la roca (Crimmins, 1978). La penetración y espaciado de los anclajes depende del tipo de roca, en general entre mayor sea la resistencia de la roca, menor es la penetración requerida por los anclajes y mayor la separación entre soportes. Para asegurar la efectividad de las anclas, en su instalación estas deben precargarse con un esfuerzo de tensión aplicado con gatos hidráulicos para asegurar un correcto funcionamiento posterior. Algunas causas de la falla de excavaciones en roca son la existencia de superficies de falla por movimientos relativos entre las capas de roca, formación de líneas de deslizamiento a lo largo de los estratos del suelo, etc.

La profundidad del nivel freático afecta de manera fundamental ya que el agua altera la resistencia de los estratos. Esto se debe a que el agua reacciona químicamente con algunos de los componentes de las rocas formando nuevos compuestos lo que provoca la alteración o eliminación de algunos de los elementos de los mismos, además el agua del subsuelo contiene en ocasiones sólidos en suspensión y gases que aceleran el proceso de descomposición química. Por último, la existencia de agua en una masa de roca provoca la formación de esfuerzos de tensión en ella debidos a la presión hidrostática que debilitan su estructura y si además existe flujo de agua, se genera un proceso de erosión y transporte de los sedimentos que provoca la formación de grietas.

Aunque por lo general las rocas son los materiales más sólidos y estables para la construcción, es necesario realizar análisis en ellas con el fin de detectar grietas, afallamientos, oquedades y otros defectos de la masa rocosa que pudieran afectar la estabilidad de la cimentación. En general existen dos formas de realizar los sondeos o investigaciones dentro de la masa rocosa: los métodos directos y los indirectos.

Los métodos directos consisten en la realización de perforaciones que permiten recuperar muestras del material atravesado. Las perforaciones son realizadas mediante perforadoras que pueden ser

unidades integrales montadas en un camión o jeep o simplemente equipos desmontables conformados por tripié, perforadora y un impulsor neumático o motor. Por la forma de perforación pueden ser de impacto o rotatorias (barrenos) y aunque generalmente las excavaciones en roca se realizan con equipos de tipo rotatorio pues el tiempo requerido para el sondeo es considerablemente menor que el requerido con equipos de impacto, es necesario considerar la posibilidad del uso de equipos de impacto cuando la roca es blanda (conglomerados o formaciones reblandecidas por el agua) pues los equipos rotatorios se atascan en ella. Cuando se realiza un sondeo mediante perforación, la resistencia y estratigrafía del subsuelo se estiman contabilizando el número de golpes requeridos para penetrar una distancia dada mientras que cuando se utiliza la perforación con broca, se estiman mediante el tiempo requerido para la penetración o se determinan con el análisis de muestras recuperadas al utilizar una broca cilíndrica con punta de diamante. Este tipo de brocas realizan un corte anular dejando un núcleo central que es recuperado.

Los métodos indirectos basan su funcionamiento los cambios en la propagación de ondas a través de del subsuelo de manera que los cambios en la velocidad de ellas se traducen en cambios en el perfil estratigráfico. Los métodos indirectos más empleados en la construcción son el método sísmico y el de resistividad eléctrica. El primero de ellos utiliza pequeñas cargas generadas en la superficie para producir ondas de choque o sonido, que se miden y registran periódicamente, los tiempos registrados entre la emisión y recepción de la onda denotan la profundidad de la masa rocosa en la cual se reflejan las ondas. El método de resistividad eléctrica se realiza generando un campo eléctrico a lo largo del sitio de muestreo, en el terreno se instalan electrodos y se mide la caída de potencial; los cambios en la conductancia eléctrica, son los cambios del perfil estratigráfico.

El equipo utilizado más comúnmente para la excavación en roca incluye equipo de excavación como compresores de aire, perforadoras rotatorias, explosivos, bombas, taladros neumáticos (ver cuadro 5.2); equipo para mover y retirar el material desprendido como retroexcavadoras, malacates, cargadores frontales, malacates; y equipo para el refuerzo de los taludes de excavación como anclajes y soportes.

Cuadro 5.2 Equipo utilizado para la excavación en roca.

Equipo	Uso	Recomendaciones	Capacidad	Equipo opcional y adicional
Compresoras.	Generación de la potencia requerida por los equipos neumáticos.	La capacidad instalada debe rebasar al menos en 30 por ciento la cantidad de aire requerida para el funcionamiento de todos los equipos que se pretenden utilizar a la vez. El empleo de un recipiente de aire en la línea de entrada mejora el funcionamiento del compresor ya que además de disminuir el número de paros y arranques del motor, provoca que el aire se enfríe lo cual aumenta la eficiencia global del sistema pues el volumen específico ocupado por un gas es menor cuando su temperatura desciende y el enfriamiento permite usar menor cantidad de energía en la compresión.	Depende del proveedor. Los hay desde 20 HP (15 KW) hasta 2000 HP (1500 KW)	Silenciadores y purificadores de aire.

Cuadro 5.2 Equipo utilizado para la excavación en roca (continuación).

Equipo	Uso	Recomendaciones	Capacidad	Equipo opcional y adicional
Rompedoras de pavimento.	Reparación de calles, demolición de concreto, corte de asfalto, tendido de tubería, etc.		38, 66 y 86 libras.	Piquetas de cuña.
Encajadoras de empalizadas.	Hincado de empalizadas de soporte de taludes.		106 libras.	Ninguno.
Piquetas de cuña.	Diferentes herramientas de metal que se utilizan como complementos de las rompedoras de pavimentos.		1 1/8 hex x 6 1 1/4 hex x 6	Ninguno.
Excavadoras.	Excavación de trincheras para agua y sistemas de drenaje, zanjas para conducciones telefónicas, oleoductos, etc.		23 1/4 lb	Blancos de cincel, piquetas de punta de barreta, de hacha, de pala, etc.
Martillos de pala.	Excavaciones en arcilla, conglomerados duros y terrenos conglomerados.	Se fabrican en anchura de 5.5" para arcilla moderadamente compacta y con anchura de 4.5" con pala extra fuerte para servicio pesado.	31.25 lb	Blancos de cincel, piquetas de punta de barreta, de hacha, de pala, etc.
Compactadoras.	Trabajos que requieren posición y apisonamiento de tierra como reparación de calles, colocación de losas de cimentación y tendido de tubería.		6.25" de diámetro en el tope.	Ninguno.
Perforadoras para barrenos profundos.	Fracturación secundaria, demolición, barrenos para pernos de anclaje, etc.		33.75, 51.25, 59 y 62 lb.	Ninguno.
Perforadora para uso general.	Demolición ligera, barrenos para explosivos, etc.			

Adaptado de Crimmins, 1978.

Aunque el empleo de equipos mecánicos y explosivos para realizar excavaciones acelera notablemente el desarrollo del proceso constructivo, existen dos limitantes para su empleo en la megamanzana de los GEOS de Ciudad Universitaria:

1. La SEDENA no permite el empleo de explosivos dentro de la zona urbana del Distrito Federal.
2. Debido a la excesiva cantidad de ruido, contaminación y vibraciones que provoca el empleo maquinaria para excavación (sobre todo las compresoras de aire y las pistolas neumáticas), la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la U.N.A.M. ha limitado su uso dentro de Ciudad Universitaria poniendo mayor énfasis para ello en zonas rodeadas por edificios y laboratorios, ya que además de provocar molestias a los usuarios las vibraciones originadas por su empleo podrían llegar a dañar los equipos de laboratorio.

Por las razones mencionadas anteriormente, la excavación para la planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, se realizó manualmente (con cuña y marro) formando una plataforma con taludes verticales hasta llegar al nivel de desplante definido en el proyecto, durante el proceso de excavación se verificó que no existieran cavernas de manera visual, ya que no se realizaron estudios del perfil estratigráfico.



Figura 5.4 Excavación en roca con cuña y marro.

Cuando se encontraron cavernas, se procedió a rellenarlas con *concreto ciclópeo* (figura 5.5). Este tipo de concreto tiene una resistencia a la compresión aproximada de 100 kg/cm^2 y se construye con una proporción en volumen de 60% de piedra brasa y 40% de mezcla de arena cemento en proporción de 4:1.



Figura 5.5 Relleno de caverna con concreto ciclópeo.

Una vez que se llenaron las grietas, cavernas y oquedades, se realizó una excavación adicional o sobreexcavación en el nivel inferior de 20 cm con el objeto de colocar un relleno de tepetate de 15 cm u otro material que permita la formación de una superficie regular y una plantilla de concreto pobre de 5 cm sin modificar los niveles establecidos. El material extraído durante la excavación se estuvo alrededor de la zanja formada para su posterior acarreo fuera de la obra.

Es importante considerar para efectos de cuantificar volúmenes de obra y movimientos de tierra una sobreexcavación tanto inferior como lateral. La sobreexcavación inferior, obedece como ya se explicó a la necesidad de considerar las alturas requeridas por los rellenos con material de banco y por la plantilla para recibir la losa de cimentación, sin que se alteren los niveles de proyecto. Mientras que la sobreexcavación lateral es resultado de la necesidad de colocar la cimbra de los muros de los tanques y estructuras para el tratamiento. Con fines de tener una idea de los volúmenes de obra generados por este concepto se pueden considerar 20 cm para la sobreexcavación inferior (15 para relleno + 5 de la plantilla) y 80 cm de sobreexcavación lateral para la colocación de la cimbra.

Durante la construcción de las plantas de tratamiento, es necesario que durante el habilitado y armado del acero de refuerzo se ponga especial cuidado en la ubicación de elementos embebidos como placas, pernos de anclaje y tuberías de paso, pues estos se colocan en función de las especificaciones de los equipos y estructuras adicionales de cada estructura (en el primero y segundo casos), y del diseño funcional e hidráulico (en el segundo caso). Además se requiere dar un seguimiento continuo a los niveles de tuberías y estructuras de proceso por lo que la presencia de un especialista de topografía se hace necesaria.

5.1.3 *Acarreos y fletes*

Se llama acarreo al movimiento del material producto de la excavación del sitio de generación hasta los lugares establecidos para ello fuera de la obra y de los insumos requeridos desde el lugar de su producción hasta el sitio de la obra.

El costo y la forma del acarreo de los insumos hacia la obra son generalmente acordados con el proveedor de los mismos de manera que las cotizaciones de materiales, equipos y consumibles requeridos durante la construcción, equipamiento y puesta en marcha de las instalaciones de tratamiento; consideran el costo del flete al lugar de los trabajos y de esta manera se responsabiliza al proveedor de su entrega en buenas condiciones.

El acarreo o desalojo de material producto de la excavación que no es aprovechable en rellenos, construcción de bardas, formación de taludes u otros conceptos que se ejecuten en la obra, son responsabilidad del constructor por lo que para fines de cálculo de costos es necesario que se definan claramente el sitio de disposición del material no aprovechable y el factor de abundamiento del material. Generalmente el proceso de desalojo del material excavado comienza en excavaciones pequeñas con el transporte en carretilla del mismo hacia los lugares de carga de los camiones de volteo (que son generalmente de 6 o 9 m³ de capacidad), posteriormente el camión transporta el material al sitio del desalojo. En excavaciones mayores el acarreo hacia los lugares de carga de los camiones es realizado por tractores o evitado cuando la excavación se realiza con retroexcavadoras y se puede realizar la carga directamente a los camiones o tractores-remolque como volquetes, vagonetas remolques con descarga lateral que son equipos con capacidades que oscilan entre 15 y 80 m³.

Cuando un material es extraído se modifica su volumen original produciéndose un incremento en él conocido como abundamiento. El abundamiento se determina como el porcentaje obtenido al dividir el peso de 1 m³ de muestra inalterada medida en banco entre el peso de 1 m³ de material suelto extraído en las condiciones esperadas de trabajo y multiplicado por 100.

$$S = (W_{\text{banco}} / W_{\text{suelto}} - 1) * 100$$

Donde:

- S: Abundamiento en porcentaje para un metro cúbico de material
- W_{banco} : Peso de un metro cúbico material en banco (muestra inalterada)
- W_{suelto} : Peso de un metro cúbico de material suelto

En el caso del material basáltico predominante en Ciudad Universitaria, el abundamiento es del orden de 80%, por lo que se recomienda considerar que para el cálculo de los volúmenes de acarreo se considere que el volumen de material excavado casi se duplicará después de su extracción para fines de transporte del material al lugar de desecho. Para el cálculo del costo por metro cúbico de material desalojado, se recomienda estimar el número de ciclos de transporte que debe realizar un camión para desalojar todo el material excedente, estimar entonces el tiempo requerido por ciclo, en función de ello el número de jornadas requeridas y por último estimar el costo total del movimiento en función del costo hora-máquina del camión y dividirlo entre el total de metros cúbicos movidos. Un ciclo debe considerar carga, acarreo, descarga del material y el tiempo de espera (en caso de que exista más de un camión) (Aburto, 1990).

5.1.4 Plantillas

Posteriormente se rellena con el terreno excavado con tepetate u otro material fino inerte para conformar una superficie regular sobre la que se desplante la estructura de concreto y para lograr un aislamiento de partículas orgánicas de la subestructura (figura 5.6). El material fino deberá colocarse en capas de 30 cm y compactarse al 80% proctor. El relleno se puede realizar por medios mecánicos (compactadores neumáticos) o manuales (pisón de mano), pero en ambos casos es necesario agregar agua de la mejor calidad posible durante el proceso de manera que la compactación se logre con el contenido óptimo de humedad.



Figura 5.6 Relleno con tepetate compactado al 90% Proctor.

Una vez que se ha llegado al nivel de desplante se colocará una película plástica (malla geotextil) con el objetivo de reducir el riesgo de infiltración al subsuelo de las aguas residuales que se encuentren en las estructuras de tratamiento (ver figuras 5.7 y 5.8). Finalmente se construye una plantilla de concreto pobre con resistencia a la compresión $f_c' = 100 \text{ kg/cm}^2$ y 6 cm de espesor con el fin de recibir a la cimentación. La función de la plantilla es dar limpieza al fondo de la excavación, evitar que se dañe la malla geotextil por el tránsito excesivo sobre él durante la construcción de la cimentación e impedir la contaminación del concreto de la losa de cimentación con material orgánico del suelo.



Figura 5.7 Colocación de la malla geotextil y la plantilla de concreto pobre para desplante de la subestructura.

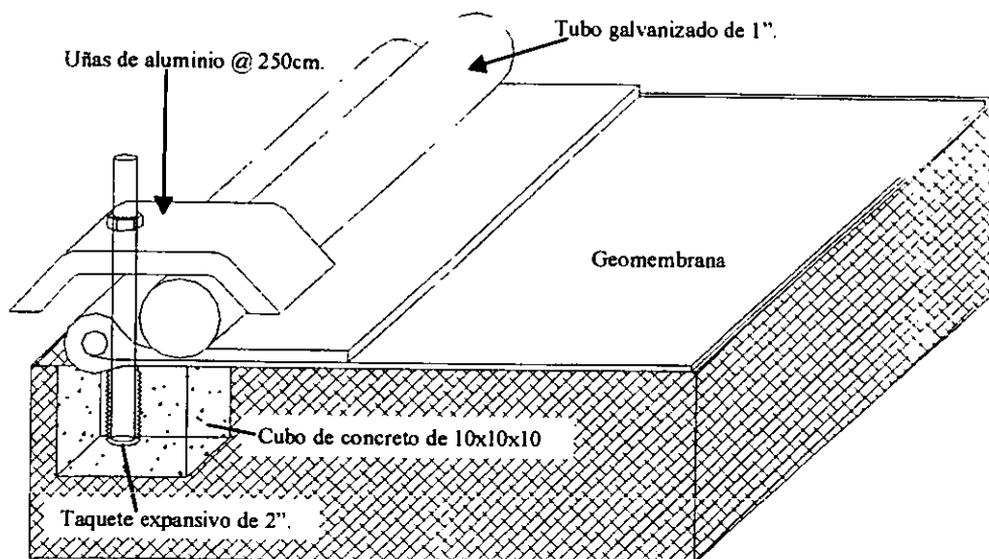


Figura 5.8 Instalación de la malla geotextil.

Adaptado de Watersaver company Inc., 1995.

5.1.5 Cimentación

La cimentación es la parte inferior de la estructura y tiene como función transmitir las cargas transmitidas por la estructura al suelo portante de manera que los esfuerzos producidos en él sean menores a los que provocan su falla. Algunas consideraciones para el diseño y construcción de las cimentaciones son (Díaz Infante, 1995):

- El área de contacto entre la superestructura y suelo es continua.
- La carga está uniformemente repartida en toda el área.
- Cimentación y suelo son flexibles.
- Debido a la flexibilidad que se le supone a la subestructura, se considera que el suelo recibe las mismas cargas en intensidad y distribución que ésta le transmite.
- En suelos arcillosos, y como consecuencia de la distribución de áreas tributarias en el edificio, se tiene un estado estático de fuerzas, que cargas vivas y muertas producen concentraciones máximas al centro de la estructura y mínimas en las esquinas. En un estado dinámico ante sollicitaciones horizontales se producirán concentraciones máximas en las esquinas y mínimas en el centro.

El tipo de cimentación que se utilice para la transmisión de esfuerzos a la masa de suelo dependerá de la profundidad de desplante (D_f), de la carga que se transmita al suelo (w) y de la capacidad del mismo. En la figura 5.9 se muestran algunos de los tipos más comunes de cimentación empleados en la práctica constructiva.

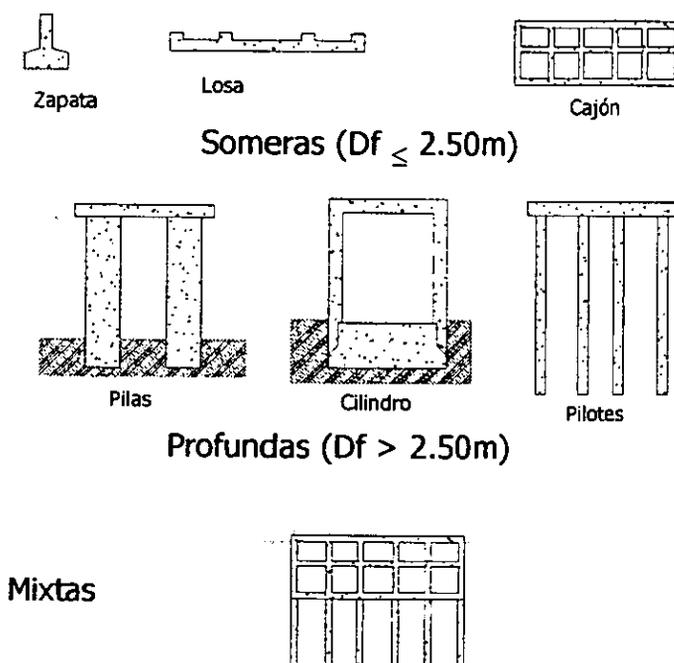


Figura 5.9 Tipos de cimentación más usuales.

Haaz Mora, 1996.

Las cimentaciones se diseñan en función del tipo y magnitud de los esfuerzos que van a transmitir al suelo portante y la resistencia del mismo. Es por ello que para el diseño de la cimentación se deben seguir los siguientes pasos (Arnal, 1996);

- Investigación de las propiedades del subsuelo en el que se desplantará la cimentación para determinar sus propiedades mecánicas (dureza, durabilidad, elasticidad y plasticidad) y sus propiedades físicas (composición mineralógica, textura, estructura, peso volumétrico, densidad de sólidos, porosidad, contenido de humedad, etc.), para ello se recomienda la realización de exploraciones y sondeos que permitan realizar un perfil estratigráfico del sitio.
- Determinar el tipo y magnitud de los esfuerzos mecánicos a los que estará sujeta la estructura, de acuerdo al tipo de cargas vivas, muertas e incidentales que se puedan presentar en ella.
- Verificar la seguridad de la cimentación simulando la ocurrencia de distintas combinaciones de carga y analizando los efectos que tendrían sobre la cimentación como colapso, movimientos verticales (hundimiento o emersión), deformaciones en la estructura y en estructuras vecinas, etc.

Dado que la estructura de tratamiento de la planta será un cajón y que los esfuerzos transmitidos al suelo son relativamente pequeños (del orden de 4 a 5 ton/m²), se puede aprovechar como elemento de cimentación. De esta manera, se considera que el piso de la estructura de almacenamiento del agua residual cumplirá la función de una losa de cimentación, transmitiendo de manera uniforme los esfuerzos al suelo rocoso.

Para el iniciar la construcción de la losa de cimentación, se repone el trazo de los ejes de la misma sobre la plantilla de concreto pobre (ver figura 5.2). Una vez repuesto el trazo, se arma y habilita el

acero de la cimentación cuidando que bajo la losa de cimentación quede la longitud de anclaje del acero principal, después de doblarlo 90° para formar una escuadra. Posteriormente se cimbran los muros de la estructura hasta la altura que se desee colar monolíticamente con la losa de cimentación (ver figura 5.10).

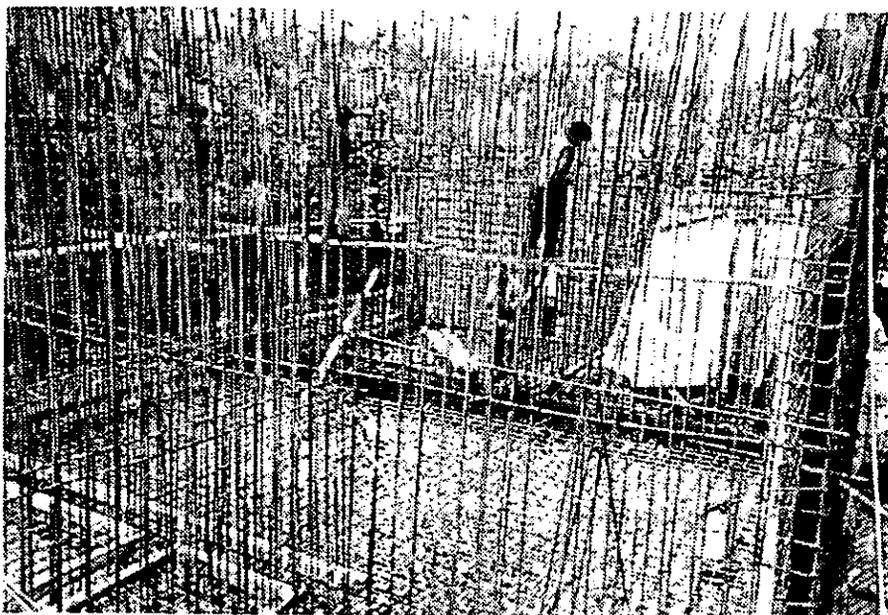


Figura 5.10 Armado de la estructura y de la losa de cimentación que se colarán monolíticamente.

Una vez que se ha armado el acero y colocado la cimbra hasta la altura a la que se colarán en una primera etapa, procurando dejar juntas constructivas en la parte superior de los muros en la que se recibirá la segunda etapa de colado (figura 5.11). La colocación de la cimbra y del concreto se explicarán con mayor detalle a continuación.

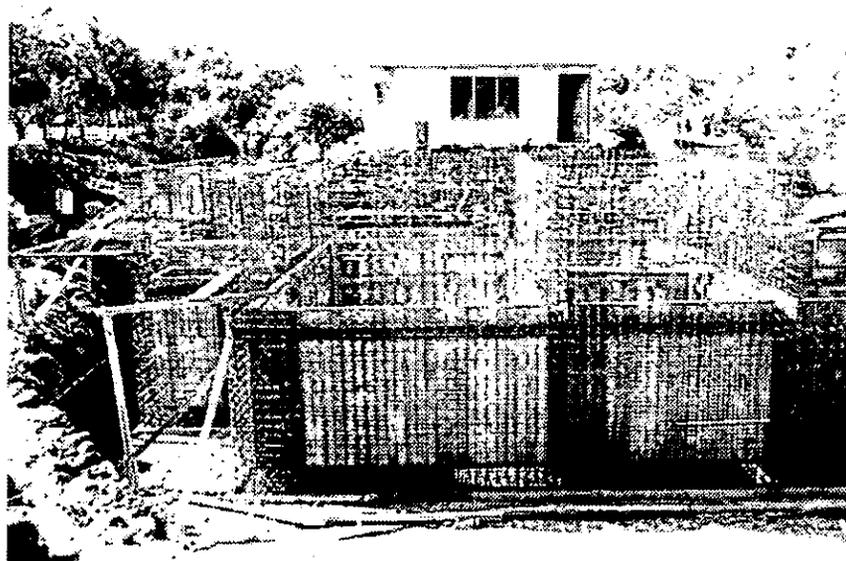


Figura 5.11 Colocación de juntas de construcción.

5.2 Superestructura

Se entiende por superestructura a la parte superior de la estructura, que recibe y transmite las cargas hacia la subestructura. El objetivo principal de la superestructura es proporcionar espacios aprovechables para el fin asignado al edificio. En el caso de la planta de tratamiento, el objetivo es el de almacenamiento de las aguas residuales en cada una de las instalaciones de tratamiento durante el tiempo requerido para remover las sustancias contaminantes de acuerdo con los objetivos del tratamiento; además de la protección de los equipos mecánicos y electrónicos necesarios para su operación. La superestructura estará formada de muros de concreto reforzado.

Los trabajos que agrupa la construcción de una superestructura de concreto reforzado se pueden agrupar en:

- Armado del acero de refuerzo.
- Cimbrado para la colocación del concreto hidráulico.
- Colocación del concreto hidráulico.
- Muros.

5.2.1 Acero de refuerzo

El concreto reforzado es un material ideado para que la combinación de acero y concreto trabajen como unidad estructural, de manera que se aprovechan mejor las propiedades de cada uno de estos materiales (ver cuadro 5.3). El acero y concreto trabajan bien juntos debido a la fuerza de adherencia que surge entre ellos cuando el concreto se endurece y aprisiona a las barras de acero previamente colocadas; una vez juntos y trabajando como unidad, el acero toma los esfuerzos de tensión que el concreto no puede tomar, mientras que el concreto soporta los esfuerzos de compresión y protege al acero de la pérdida de resistencia por corrosión o por altas temperaturas debidas a un eventual incendio.

Cuadro 5.3 Análisis comparativo entre acero y concreto.

Material	Resistencia		Costo
	Compresión	Tensión	
Acero	Muy alta	Muy alta	Muy alto
Concreto	Alta	Muy baja	Bajo

Adaptado de Zárate Rocha, 1993.

Comercialmente, existen tres tipos de acero de refuerzo definidos por su límite de fluencia o punto de fatiga (ver cuadro 5.4) que es un valor a partir del cual, el material pierde sus propiedades elásticas.

Cuadro 5.4 Tipos de acero de refuerzo comercial según su límite de fluencia.

Presentación	Límite de fluencia (f_y) Kg/cm ²	Grado
Barras lisas de acero de 6.4 mm laminadas en caliente (alambón).	2,940	30
Barras corrugadas de acero laminadas en caliente (varillas).	4,200	42
Mallas soldadas de alambre laminado en frío.	6,000	60

Adaptado de Díaz Infante, 1996

El acero usado generalmente para refuerzo es en forma de barras corrugadas o varillas, estas se pueden conseguir en diferentes diámetros, según las necesidades particulares del refuerzo. Algunas recomendaciones que se deben considerar para la colocación del acero de refuerzo son:

- Que para el doblado de las varillas se cuente con un mandril o un apoyo circular que permita un giro de 180°, cuyo diámetro expresado como múltiplo del de la varilla de acuerdo con las recomendaciones del cuadro 5.5.
- Que las juntas de acero de refuerzo se hagan por medio de traslapes con una longitud mayor o igual a 40 diámetros de la varilla que resulte de mayor diámetro de las dos empalmadas.

Cuadro 5.5 Diámetros mínimos requeridos para el doblado de las varillas de acero.

Diámetro (octavos de pulgada)	Grado 30	Grado 42	Grado 52
2, 3, 4 y 5	4d	4d	5d
6	5d	5d	6d
8	5d	6d	7d
10, 11 y 12	5d	8d	8d

D= Diámetro nominal de la varilla
Adaptado de Diaz Infante, 1996

- Que no se traslape ni solde más del 50% del acero de refuerzo en una misma sección para evitar la creación de un plano de falla en dicha sección.
- Que en caso de que en el proyecto se especifique el uso de juntas soldadas para la unión de las varillas, éstas se efectúen de acuerdo con las normas AWS (American Welding Society), buscando que sean capaces de desarrollar un esfuerzo a la tensión de 1.25 veces la resistencia de fluencia especificada para el acero de refuerzo del proyecto. Además de calentar previamente al metal base a 50° C para evitar agrietamientos de los puntos de soldadura al alinear la junta.

En el caso de no usar soldadura, el armado de la estructura se debe amarrar con alambre recocido en cada uno de los puntos en los que se intersecten dos varillas sobre el mismo plano o existan traslapes por adherencia, para evitar que durante el colado del concreto éstas cambien de posición. El amarre de las estructuras además de hacer autoportantes a los elementos verticales.

En tanques y estructuras de tratamiento el refuerzo del acero que se usa tanto en las losas como en los muros es principalmente por "temperatura", ya que las condiciones de humedad son muy altas durante la operación y las condiciones de carga se limitan únicamente al empuje hidrostático del agua contenida, lo que provoca que el refuerzo de acero sea principalmente para evitar agrietamientos. Cabe mencionar que la recomendación anterior es útil para el armado de tanques con alturas de operación menores a 3 m y en los que no habrá equipos mecánicos que vibren durante la operación, pero en todo caso es mejor realizar un análisis estructural simulando las condiciones de operación y carga para conocer el armado requerido por la estructura.

Es necesario considerar durante el armado la colocación de los pasos de tuberías requeridos por el proceso en cada estructura, así como la colocación de placas que queden embebidas en el concreto. Las primeras se utilizan para la alimentación y desalojo del agua y lodo del proceso, alimentación de energía eléctrica de los equipos, entre otros, mientras que las placas se utilizan posteriormente como

elementos base para la colocación de elementos soldables como escalerillas marinas dentro de las estructuras, compuertas u otros.

5.2.2 Cimbra

La cimbra tiene como finalidad dar soporte y confinamiento al concreto fresco de las estructuras de manera que al endurecerse estos tengan la forma, posición, dimensión y acabados requeridos. Están constituidas por una superficie que estará en contacto con el concreto y dará forma y acabado a la estructura provisional para soportarlas. Su construcción debe ser económica, eficiente y segura; además de garantizar que el concreto colado en ellas cumplirá con plenamente con las especificaciones geométricas del proyecto (Díaz Infante, 1993). Con tal fin, se debe buscar que las cimbras tengan las siguientes características:

- Sean lo suficientemente resistentes para soportar las cargas muertas y vivas que se presenten durante el colado.
- Sean rígidas para que conserven la forma, posición y dimensión deseada hasta que la estructura de concreto sea autoportante.
- Tengan apoyos firmes que minimicen los hundimientos.
- Sean estancas para evitar la pérdida de la pasta de concreto.
- Estén saturadas antes del colado para evitar que absorban agua de la mezcla de concreto.
- Permitan alcanzar los acabados deseados.
- Sean de fácil armado y colocación.

Las cargas que se deben considerar en su diseño incluyen:

- Verticales: peso propio de la cimbra y la estructura antes del fraguado, componentes de las cargas excéntricas, vibración y carga viva.
- Horizontales: viento, sismo, componente de carga viva, y presión lateral del concreto y del vibrado.

La forma de la cimbra depende del tipo de elemento para el cual va a ser utilizada, en general se pueden agrupar en cimbras para zapatas, dados y contrarabes; cimbras para columnas y muros; y cimbras para traveses y losas; aunque en general la cimbra se compone de los siguientes elementos (ACI 301, 1988):

Cimbra de contacto. La superficie que está en contacto con el concreto, facilita la remoción de la cimbra y proporciona acabados al concreto.

Obra falsa. Son todos los elementos que sirven de apoyo a la cimbra de contacto y le permiten permanecer en la posición requerida por el elemento que se va a colar.

Separadores, anclajes y sujetadores. Sirven para sostener la cimbra contra la presión activa del concreto durante el colado.

Chaflanes. Facilita el descimbrado, evita fugas de lechada y crea extremos biselados.

Vigas y puntales. Sirven de soporte de la cimbra.

Aislantes de cimbra. Protegen al concreto en climas fríos.

En el cuadro 5.6 se describen algunas características de las cimbras de cada uno de los grupos de elementos estructurales mencionados.

Cuadro 5.6 Características de las cimbras utilizadas en diferentes elementos de una estructura.

Ubicación	Función	Elementos	Características
Subestructura	Cimentación	Zapatas, dados y contrarabes	Por lo general los elementos horizontales y verticales que integra la cimentación deben ser colados en forma continua, haciéndolos así monolíticos para evitar juntas de colado y dar continuidad a la estructura. La cimbra se debe diseñar sin colocar elementos de madera debajo de los elementos verticales de la cimentación pues, estos quedaran ahogados en la losa base de la cimentación.
Superestructura	Elementos verticales de carga	Columnas y muros	Debe resistir el empuje hidrostático del concreto durante su colocación y antes de que inicie el fraguado, por lo que es fundamental conocer la velocidad con la cual se depositará el concreto para el diseño de la cimbra de este tipo de elementos. Para ello se pueden utilizar largueros, yugos y puntales inclinados cuando la altura y la velocidad de colado son pequeñas, y cuando la altura o velocidad de colado sean grandes es necesario reforzar con sujetadores metálicos como moños y torzales (este último sólo cuando no se requiere acabado aparente).
	Elementos horizontales	Losas y vigas	Generalmente el colado de este tipo de elementos se realiza monolíticamente, por lo que es necesario cimbrar conjuntamente vigas y losas. La "obra falsa" de este tipo de elementos se realiza formando marcos metálicos como puntales y encima de ellos vigas de a base de Montén de 8"; el resto de la cimbra se hace con madera. Las vigas requieren una estructura provisional más robusta, pues su peso por unidad de área es de 3 a 4 veces mayor que el de las losas. En estos casos es necesario cerrar la separación entre los puntales.

Adaptado de Diaz Infante, 1995

La cimbra de los elementos de concreto se debe retirar una vez que estos alcancen una resistencia mayor al 70% de la resistencia de diseño cuando se trate de elementos horizontales como vigas y losas, o bien cuando el retiro de la cimbra no dañe al concreto. La resistencia del concreto colado se determina al probar cilindros curados en campo en condiciones similares a las del elemento de concreto del cual fueron extraídas las muestras para su elaboración. Generalmente estos tiempos son de 12 horas en elementos verticales y de 4 hasta 21 días en elementos horizontales dependiendo de la relación existente entre carga viva y carga muerta, de las condiciones climáticas y de la longitud del claro existente entre los apoyos de los elementos (Arnal, 1993).

La planta de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, está conformada por una estructura rectangular formada por muros verticales de concreto de 4 metros de altura y una losa de cimentación de 30 cm de espesor. El colado de los muros se realizó en conjunto con los elementos horizontales de la cimentación hasta una altura de 2 metros para lo cual se habilitó la cimbra antes del colado hasta dicha altura y se colocó una banda de PVC de 7.5" en la parte superior que sirvió de junta de colado. Para la elaboración de la cimbra se utilizaron los siguientes elementos:

Cara en contacto: acabado tipo aparente de tambor de triplay de 19 mm (3/4")

Puntales: barrotes de madera de 5x10 cm.

Yugos: barrotes de madera de 5x10 cm colocados a cada 50 cm.

Forma de sujeción entre los tableros: tensores metálicos tipo mariposa.

5.2.3 Concreto hidráulico

El concreto es un material pétreo de creación artificial producto de la mezcla de materiales inertes (grava, arena y ocasionalmente aditivos que modificará las propiedades iniciales del concreto para condiciones específicas de trabajo) con agua y cemento. Funcionalmente, el agua y el cemento forman una pasta que sirve de aglutinante al resto de los materiales, que conformarán la “estructura” del concreto. Las cantidades y cualidades de cada uno de los componentes del concreto definirán las propiedades del mismo, tanto mecánicas (resistencia a cargas) como químicas (velocidad de secado o fraguado, resistencia a distintos reactivos, etc.). A continuación se describe cada uno de los componentes del concreto.

Cemento

El cemento usado actualmente o cemento portland es un material finamente pulverizado formado de la mezcla de *clinker*¹ con yeso. Cuando el cemento portland se mezcla con agua, se produce una reacción química que provoca el endurecimiento del conjunto hasta formar una masa pétreo que se conoce como pasta de cemento endurecida. En la actualidad existen diferentes tipos de cementos y cada uno de ellos tiene propiedades que permiten su uso para condiciones específicas de trabajo o fraguado. Los cementos utilizados para la construcción de estructuras se muestran en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7 Características y tipos de cemento utilizados para la construcción de estructuras.

Tipo de cemento	Características	Propiedades y recomendaciones para su uso
Tipo I	Normal	Es un cemento de uso general, se utiliza en condiciones normales de construcción y operación; es decir cuando el concreto no está expuesto a climas extremos durante su colocación ni a la acción de agentes corrosivos durante la vida útil de la estructura.
Tipo II	Modificado	Se utiliza en construcciones que estarán expuestas a la acción moderada de sulfatos (como en las estructuras de drenaje) o cuando se requiere un calor de hidratación moderado (p. ej. colados en climas cálidos o colado de grandes estructuras).
Tipo III	De resistencia rápida	Para elaboración de concretos en los que se requiera una resistencia alta a temprana edad (cuando se requieren retirar los moldes de las cimbras rápidamente) o para colado en tiempo de frío.
Tipo IV	De bajo calor	Este tipo de cemento tiene una composición diseñada para que durante su solidificación, la cantidad de calor generada por las reacciones químicas se mínima.
Tipo V	Contra sulfatos	Cuando las estructuras estarán expuestas permanentemente a sustancias alcalinas altamente concentradas.

Adaptado de Zárate Rocha, 1995

Agregados pétreos

Los agregados pétreos son fragmentos de roca que dan las propiedades mecánicas y características físicas al concreto (resistencia, deformabilidad y peso volumétrico). Los agregados pétreos se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño, lugar de extracción, peso y forma (ver cuadro 5.8).

¹ El *clinker* es una mezcla de arcilla con materiales calcáreos sometidos a cocción hasta que forman bolas.

Cuadro 5.8 Clasificación de los agregados pétreos.

Criterio de clasificación	Clasificación	Características
Por su tamaño.	Arena. Granzón. Confitillo. Grava. Matatena.	0.02 - 3.00 mm 3.01 - 6.00 mm 6.01 - 13.00 mm 13.01 - 38.00 mm 38.00 - 152.00 mm
Por el lugar de extracción.	Río. Mina. Playa. Trituración.	
Por su peso.	Pesados. Normales. Ligeros.	Roca de alta densidad (granito, basalto). Rocas de densidad media (boleos de ríos). Rocas de baja densidad (tezontle, pómez).
Por su forma.	Redondeados (Boleos). Angulosos (aristas vivas). Mixto.	Se pueden encontrar en los lechos de los ríos. Se obtienen mediante la fragmentación de trozos mayores. Es una mezcla de los dos anteriores.

Adaptado de Díaz Infante, 1996 y Zárate Rocha, 1995

Agua

El agua utilizada para la mezcla debe ser limpia (de preferencia potable), evitando usar aquella que tenga sustancias que produzcan olor o la enturbien.

Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas que reaccionan con el concreto, dándole propiedades específicas que posibilitan su uso o manejo en condiciones ambientales adversas o situaciones de trabajo específicas.

Para fines de proyecto dentro del D.F., se acepta que existen dos tipos de concreto (clase I y clase II) cuya diferencia básica estriba en que la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días sea menor o mayor a 250 Kg/cm². Adicionalmente se exige el cumplimiento de algunos otros requisitos (ver cuadro 5.9).

Cuadro 5.9 Comparación entre los concretos Clase I y II.

Característica	Tipo de concreto	
	Clase I	Clase II
Resistencia a la compresión (f_c' en Kg/cm ²)	≥ 250	< 250
Resistencia a la tensión (f_t en Kg/cm ²)	$1.5\sqrt{f_c'}$	$1.2\sqrt{f_c'}$
Módulo de elasticidad (E_c)	$14,000\sqrt{f_c'}$	$8,000\sqrt{f_c'}$
Coefficiente de deformación axial diferida (C_p)	≤ 2.4	≤ 5.0

Adaptado de Arnal, 1993

El concreto puede ser fabricado en una planta especializada (o premezclado) o en el lugar de la obra, en ambos casos se le requieren realizar pruebas que aseguren cumpla con las especificaciones de proyecto. Las pruebas realizadas al concreto para verificar su calidad son:

- Revenimiento.
- Peso volumétrico.
- Resistencia.
- Extracción de corazones.
- Contracción secado a los 28 días.

Dichas pruebas se realizan a muestras tomadas del concreto que se va a colocar en distintos recipientes dependiendo del tipo de prueba a realizar (la prueba de extracción de corazones, consiste en extraer muestras cilíndricas de diámetro igual a 2-3 veces el tamaño máximo de agregado y se utiliza cuando por alguna razón se tiene dudas de la resistencia del concreto). La frecuencia y tolerancia para realizar las pruebas anteriormente mencionadas, se muestran en el cuadro 5.10.

Cuadro 5.10 Recomendaciones para realización de pruebas que permitan verificar la calidad del concreto.

Prueba	Frecuencia		Tolerancia
	Premezclado	Hecho en obra	
Revenimiento.	Una por olla	Cada 5 revolturas.	De: 1 a 5 cm +1.5 cm 5 a 10 cm + 2.5 cm 10 o más cm + 3.5 cm
Peso volumétrico.	Una por cada 20 m ³ como máximo	Una por día como mínimo.	
Resistencia del concreto clase I.	Mínimo una pareja de cilindros por cada 40 m ³	Igual que el premezclado.	En dos cilindros consecutivos, se acepta la resistencia especificada menos 35 Kg/cm ² y en tres consecutivos no menor que f'c.
Resistencia del concreto clase II.	Mínimo una pareja de cilindros por cada 40 m ³ .	Igual que el premezclado.	En dos cilindros consecutivos, se acepta la resistencia especificada menos 50 Kg/cm ² y en tres consecutivos f'c menos 17 Kg/cm ² .
Extracción de corazones.	Tres por cada zona en donde los cilindros no hayan cumplido.	Igual que el premezclado.	Se acepta que el promedio sea del 80% de la resistencia de diseño.
Módulo de elasticidad a los 28 días.	Una por día si los agregados son de la misma fuente.	Igual que el premezclado.	Clase I: $\geq 14,000 f'c$. Clase II: $\geq 8,000 f'c$.
Contracción secado a 28 días de curado.	Uno por día.	Igual que el premezclado.	Clase I: ≤ 0.001 . Clase II: ≤ 0.002 .
Coefficiente de deformación diferida a 28 días de curado y 28 días de secado al 40% de su resistencia.	Uno por día.	Igual que el premezclado.	Clase I: ≤ 2.4 . Clase II: ≤ 5.0 .

Adaptado de Arnal, 1993.

Adicionalmente se requiere que se tengan los siguientes cuidados durante el manejo y la colocación del concreto (Arnal, 1993):

- Humedecer la cimbra en contacto de madera durante dos días para evitar que absorba el agua del concreto y colocarle aceite u otro elemento que facilite su retiro durante el descimbrado.
- Evitar segregación o pérdida de los componentes del concreto antes durante su transporte al lugar del colado.

- Efectuar el transporte y la colocación del concreto sobre moldes cuyas superficies estén limpias.
- Utilizar procedimientos de colocación y compactación del concreto tales que aseguren una densidad uniforme del concreto en toda la superficie de colado y eviten la formación de huecos.
- Vaciarse el concreto en la zona del molde o cimbra sobre la que se localice su posición definitiva y compactar mediante picado, vibrado o apisonado.
- Evitar trasladar el concreto mediante vibrado.
- Tomar precauciones tendientes a contrarrestar el descenso en resistencia y retardo en el endurecimiento cuando la temperatura ambiente sea menor a 5°C.
- Mantener el concreto en un ambiente húmedo por lo menos durante 7 días (concreto normal) o 3 días (concreto de resistencia rápida), estos lapsos se aumentarán cuando la temperatura descienda a menos de 5°C. Para acelerar la adquisición de resistencia y reducir el tiempo de curado se puede utilizar el curado con vapor (ya sea a presión atmosférica o a alta presión), calor y humedad u algún otro proceso aceptado.
- Colocar juntas de colado en lugares y con la forma que indiquen los planos estructurales. Antes de iniciar un colado las superficies en contacto se limpiarán y saturarán con agua, poniendo especial atención en lo que respecta a limpieza y remoción del material suelto o poco compacto en juntas con elementos verticales.

Los muros de las estructuras de tratamiento de aguas residuales municipales, son generalmente de concreto de cemento tipo II, premezclado, con impermeabilizante integral, bombeable y con resistencia a la compresión de 200 o 250 Kg/cm² dependiendo de las características de la estructura. Aunque para aguas residuales de procesos industriales con pH menor a 5 o cuando la estructura estará desplantada en suelos corrosivos es conveniente utilizar concreto con cemento tipo V o un recubrimiento plástico que evite el contacto del líquido con el cemento para evitar corrosión (por ejemplo resina epóxica).

5.2.4 Muros

Las paredes de estructuras para el tratamiento o almacenamiento de agua residual deben ser impermeables y resistir las cargas del suelo cuando está vacío el tanque (pues generalmente se encuentran hundidos en el terreno) y el empuje hidrostático del agua durante la operación del sistema. En el análisis estructural de los tanques de almacenamiento, se deberá hacer una revisión de los siguientes conceptos (Leyva Campos, 1998):

- **Carga muerta.** Peso propio del tanque y sus accesorios, incluyendo la cubierta y la estructura de soporte, así como cualquier carga muerta que se pueda presentar durante la operación o construcción.
- **Empuje hidrostático del líquido almacenado.** Deberá considerarse la presión ejercida por el líquido contenido sobre las paredes de la estructura. Cuando se haga diseño por sismo, se supondrá el tanque lleno al 80% de su capacidad. Para efectos de cálculo de deformaciones diferidas en la cimentación, se supondrá lleno al 70% de su capacidad.
- **Carga viva sobre cubierta.** Ésta no será menor que 120 Kg/cm² de proyección horizontal.
- **Empujes externos.** En caso de que la estructura se encuentre por debajo del nivel del terreno, se considerará el empuje lateral de los rellenos y cuando el nivel freático se encuentre por

encima del nivel de desplante se deben considerar el empuje del agua del subsuelo sobre los muros y la subpresión sobre la losa de fondo.

- *Deformaciones y movimientos impuestos a la estructura.* Estos pueden ser hundimientos diferenciales de los apoyos, efectos de los cambios de temperatura, de contracciones y de flujo plástico.
- *Efectos de viento.*
- *Efectos de sismo.*

Una vez que se ha realizado el diseño de la estructura se procede a una revisión de las dimensiones de los muros y demás componentes de concreto de la estructura con las recomendaciones siguientes:

- Los muros de concreto reforzado con altura mayor a 3.0 en contacto con fluidos deben tener un espesor mínimo de 30 cm. En general, el espesor mínimo de cualquier elemento estructural de las obras sanitarias es de 15 cm, pero se requerirá incrementar esta magnitud cuando se especifiquen recubrimiento mayor o igual a 5 cm en una distancia igual al recubrimiento (ACI-350-89, 1989).
- La relación entre el área de refuerzo principal y el área total de concreto debe ser al menos de 0.003 para muros de 30 cm de espesor y de 0.0025 para muros más gruesos. Para controlar el agrietamiento es preferible aumentar el número de varillas de refuerzo utilizando un diámetro pequeño, siendo la separación máxima entre ellas de 30 cm (ACI-350-89, 1989).
- El recubrimiento mínimo del acero de refuerzo debe ser de 2 a 4 cm en secciones secas y de 5 a 7 cm en secciones en contacto con el agua o suelo (ACI-350-89, 1989).

Siguiendo las recomendaciones citadas anteriormente, se revisó el armado de los muros de la estructura de tratamiento de la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Las características de dichos muros se detallan a continuación:

Altura:	4.0 m (3.5 útiles + 0.5 m de bordo libre)
Espesor:	20 cm
Armado:	Parrilla doble de varillas del #3 @ 20 cm, el acero se coloca tanto en la parte interior como en la parte exterior del muro
Recubrimiento:	5 cm

Como se menciona anteriormente, los muros de la estructura principal se colocaron en 2 etapas de colado, en la primera se realizó un colado monolítico con la losa de cimentación hasta los primeros 2 m de altura, mientras que en la segunda se colaron los dos metros restantes. Para el colado de las estructuras de tratamiento es conveniente usar concreto premezclado, ya que este tipo de concreto se fabrica bajo condiciones controladas lo que asegura una mejor calidad. Además de que su colocación es más rápida si se toma en cuenta que los proveedores de este servicio cuentan con camiones que tienen bombas y otros implementos especiales que facilitan la colocación del concreto en sitios elevados o de difícil acceso (figura 5.12). Cabe mencionar que el costo por metro cúbico de este tipo de concreto solo cubre el costo suministro material y que los servicios de bombeo se cobran por lotes de 25 m³.



Figura 5.12 Camión de concreto premezclado con brazo mecánico para colocación del concreto en lugares de difícil acceso.

Bibliografía

1. Aburto Valdés Rafael, Chávarri Maldonado Carlos; *Movimiento de tierras Tomo I*. FUNDEC A.C. México, 1990.
2. Allen, Edward. *Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods*. John Wiley & Sons. USA, 1990.
3. Arnal Simón, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal comentado y etc.
4. American Concrete Institute. 350R-89. Ratificado en 1992. Estructuras Sanitarias de Concreto para mejoramiento del ambiente. Publicado por el Instituto Mexicano del Concreto y del Cemento.
5. Crimmins. *Métodos para la construcción en roca*. Editorial Trillas. México, 1978.
6. Díaz Infante, Luis Armando. *Curso de Edificación*. Editorial Trillas. Primera edición. México, 1995.
7. Haaz Mora, Hugo. *Ayudas de diseño de cimentaciones*. Facultad de Ingeniería, México, 1995.
8. Leyva Campos, Velia A. *Aspectos de Ingeniería Civil en las Plantas de Tratamiento de Agua Residual*. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería. UNAM. México, 1998.
9. Watersaver Company Inc. *Detalle de colocación de malla Geotextil*. Detail number: H-Conach de fecha /01/95. Watersaver company Inc. Denver, EU, 1995.
10. Zárate Rocha, Luis. *Apuntes para la materia de construcción de estructuras*. Tema I: Concreto. Facultad de Ingeniería de la UNAM, México 1995.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Considerando que el agua se ha convertido en un recurso muy valioso y actualmente es una exigencia legal el tratamiento de los residuos líquidos generados tanto por industrias como por municipios, es importante tener en cuenta que:

- Las instituciones educativas o dependencias privadas o gubernamentales deben tener como exigencia el manejo una política adecuada para el manejo de sus residuos para disminuir los impactos en el ambiente generados por sus actividades, además de establecer políticas que fomenten el ahorro de insumos y hagan más eficiente sus actividades como mitigar el impacto ambiental a través del ahorro en el consumo de energéticos y de un manejo adecuado de los recursos hidráulicos con los que cuenta y residuos que genera.
- En la actualidad un elevado porcentaje de las descargas de residuos líquidos generados por este tipo de instituciones (sobre todo en zonas pedregosas), es vertido a grietas sin tratamiento o en el mejor de los casos a fosas sépticas que han recibido un mantenimiento muy escaso lo que ocasiona que sus condiciones de operación sean deficientes y provoca problemas de contaminación del acuífero. En el caso de la Ciudad Universitaria, que se encuentra en una zona de recarga y cuyas características geotécnicas encarecen la construcción esta es una práctica común en la que se trabaja para mejorar las condiciones de descarga tanto en calidad como en cantidad.
- Existen muchas opciones para el desalojo y tratamiento de los residuos de una población pero para seleccionar adecuadamente una de ellas, es necesario conocer las características del agua y su cantidad de manera que las dimensiones de tuberías de drenaje y de la instalación de tratamiento sean las adecuadas. Para el diseño y selección del tipo de red adecuado para el drenaje de una localidad es importante considerar las pendientes disponibles, tipo de terreno, profundidad del nivel freático para estimar el caudal de infiltración al drenaje y tipos de tuberías disponibles. En el caso de la selección del tren de tratamiento, se deben considerar las concentraciones de contaminantes del agua por tratar y las condiciones particulares de la descarga exigidas por las Normas Oficiales Mexicanas en función del lugar de vertido o uso que se le pretenda dar al agua de manera que se puedan definir los alcances del tratamiento.
- Que para un adecuado funcionamiento de las instalaciones de drenaje y tratamiento, es necesario establecer un programa mínimo de mantenimiento que contemple la limpieza periódica de alcantarillas, registros y fosas sépticas, además de una revisión periódica de las instalaciones construidas y capacitación del personal encargado de ellas dentro de cada dependencia en la que se contemple con un inventario completo de la distribución de las instalaciones para evitar la facilitar la inspección de los registros de drenaje en el momento en que ésta sea requerida y evitar su bloqueo con nuevas obras, porque en una institución tan grande como la UNAM en la que constantemente se realizan nuevas obras, es fácil que se construyan nuevas instalaciones sobre instalaciones antiguas que al parecer “nunca se usan” imposibilitando su inspección (lo cual sucedió con uno de los registros del Instituto de Ciencias Nucleares). Otro problema observado es que la práctica común es realizar mantenimiento de estas instalaciones hasta que dejan de funcionar lo que encarece el costo de las reparaciones necesarias, efectuándose los trabajos en condiciones poco saludables.
- Para la adecuada selección de un proyecto integral de saneamiento (drenaje y tratamiento del agua residual), es necesario conocer de manera precisa los siguientes factores:

1. *Topografía del área de influencia.* Para establecer rutas de drenaje que favorezcan la conducción por gravedad minimizando la necesidad de conducciones a presión que generan costos mayores de operación y mantenimiento.
 2. *Caudal de aportación de la población dentro del área de influencia.* Este punto es fundamental pues un dimensionamiento inadecuado de una planta de tratamiento es muy costoso tanto en términos económicos como técnicos, pues además de requerir inversiones mayores provoca problemas de operación como el desalojo continuo del caudal que llega a la planta en exceso (en el caso de diseñarse con caudales menores a los reales) o la generación de olores al aumentar los tiempos de residencia hidráulica en las instalaciones y un mayor costo de operación por metro cúbico tratado cuando se diseña con un caudal menor al real. En un proyecto como el que se estudia en este trabajo en el que es difícil medir de manera directa las aportaciones, es conveniente establecer el tipo de descargas que serán tratadas y controlar posteriormente la entrada de descargas al sistema de drenaje para que llegue a la planta únicamente el caudal de diseño. Para establecer el tipo de descargas que se van a tratar es conveniente que se escojan únicamente las descargas generadas por las actividades de la población descarga son más constantes en cuanto a volumen y concentración de contaminantes. Además es más exacto calcular el caudal de diseño en función de las aportaciones estimadas de una población conocida en cantidad y calidad que estimar las descargas de laboratorios y comedores, cuyas descargas pueden además tener concentraciones de contaminantes mayores y grandes volúmenes en periodos de tiempo más cortos. En este sentido es recomendable que el sistema de drenaje sea de tipo separado y se seleccionen materiales herméticos para la construcción del mismo de manera que se minimice la infiltración de caudales subterráneos durante la temporada de lluvia.
 3. *Estudio técnico y económico de más de una alternativa.* Para que al tener que decidir la alternativa que se va a construir se tengan bases más amplias para ello. En este sentido es necesario que se establezcan y califiquen con igual rigor cada una de las alternativas y que cada una de ellas sea estudiada con una precisión similar. El primer paso para este análisis es definir si la alternativa analizada se puede construir con cierto grado de facilidad y se adecua a las condiciones locales del lugar como topografía, existencia de materiales, existencia de mano de obra, entre otras. Por último es necesario establecer para la toma de decisiones una base de comparación uniforme. En mi punto de vista la forma más adecuada de satisfacer lo anterior es el estimar los costos tanto de construcción como de mantenimiento del proyecto y decidir en función de ellos cuál es la mejor alternativa (siempre y cuando todas las alternativas analizadas sean factibles técnicamente), pues aunque existen métodos más rápidos como las matrices de decisión en las cuales se establece una serie de cualidades a calificar en cada una de las alternativas se le asignando un puntaje máximo a cada una de ellas en función de su importancia relativa y el decisor asigna una calificación a cada cualidad, estos llevan asociada una subjetividad asociada que puede llevar a una decisión errónea. Por lo anterior es recomendable que las tres alternativas sean traducidas a su valor monetario como base de comparación.
- Por último es necesario que durante el diseño y la construcción de las instalaciones de tratamiento se sigan recomendaciones de los organismos especializados en el saneamiento ambiental o con experiencia en la construcción de estructuras de saneamiento (*American Concret Institute (ACI)*),

Waste Water Association (WWA), entre otros), para lograr un proceso constructivo más seguro y con menor número de fallas en las estructuras tanto por un procedimiento constructivo inadecuado como por el deterioro acelerado de las mismas debido a los procesos químicos que se llevan a cabo dentro de ellas.

ANEXOS

NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE MANEJO, DISPOSICIÓN Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES.

Actualmente, 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 la Descarga (CPD) al especificar parámetros (físicos, químicos y biológicos) como valores máximos o mínimos permisibles que controlan la calidad del agua. La entrada en vigor de estas normas convierte el tratamiento de las descargas generadas por industrias y municipios en una necesidad legal, por lo que aquí se presentan las condiciones que deben cumplir las descargas y el efluente de tratamiento para su disposición o reuso de acuerdo con los objetivos de las Normas Ecológicas (ver cuadro A1.1). Para ello se presentan únicamente las recomendaciones dadas en dichas normas en cuanto a los límites máximos de contaminantes permisibles tanto en las descargas como en el agua tratada para reuso en servicios públicos, sin embargo en el cuadro A1.2 se presenta el contenido de cada una de las Normas Ecológicas. Para mayor conocimiento de las normas se remite al lector al Diario Oficial de la Federación (DOF) de las fechas indicadas en el cuadro A1.1 o a la página del Web de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (www.semarnap.gob.mx),

Cuadro A1.1 Normas Oficiales Mexicanas en materia de disposición y reuso del agua residual.

<i>Nombre</i>	<i>Fecha de publicación en el DOF</i>	<i>Objetivo</i>
NOM-001-ECOL-1996	6 / enero / 1997	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos.
NOM-002-ECOL-1996	3 / junio / 1998	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.
NOM-003-ECOL-1997	21 /septiembre / 1998	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.

Cuadro A1.2 Contenido de las Normas Ecológicas.

<i>NOM-001-ECOL-1996</i>	<i>NOM-002-ECOL-1996</i>	<i>NOM-003-ECOL-1997</i>
1. Objetivo y campo de aplicación	1. Objetivo y campo de aplicación	1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias	2. Referencias	2. Referencias
3. Definiciones	3. Definiciones	3. Definiciones
4. Especificaciones	4. Especificaciones	4. Especificaciones
5. Métodos de prueba	5. Métodos de prueba	5. Muestreo
6. Verificación	6. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales	6. Métodos de prueba
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales	7. Bibliografía	7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.
8. Bibliografía	8. Observancia de esta norma	8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma	9. Transitorios	9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio		
11. Anexo I		

En los cuadros A1.3, A1.4, A1.5 y A.6 se muestran las condiciones particulares de las descargas y los límites máximos de contaminantes permitidos por las normas de referencia. Posteriormente se expresan algunas definiciones que ayudarán al mejor entendimiento de las mismos.

Normas Oficiales Mexicanas en materia de manejo, disposición y reuso de aguas residuales

Cuadro A1.3 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

PARÁMETROS (miligramos por litro excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (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 (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.			P.M.
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	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	
Materia Flotante (3)	aus ente	aus ente	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	ause nte	aus ente	aus ente	aus ente	aus ente	aus ente	aus ente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

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.

Fuente: NOM-001-ECOL-1996

Normas Oficiales Mexicanas en materia de manejo, disposición y reuso de aguas residuales

Cuadro A1.4 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (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 (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	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
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	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
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	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	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	0.01	0.02	0.01	0.02	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
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	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) 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.
 Fuente: NOM-001-ECOL-1996

Cuadro A1.5 Límites máximos permisibles para descargas al drenaje municipal.

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Fuente: NOM-002-ECOL-1996.

Cuadro A1.6 Límites máximos permisibles de contaminantes para el agua tratada que se pretenda reutilizar en servicios al público.

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO₅ mg/l	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: NOM-003-ECOL-1997

DEFINICIONES

Aguas costeras. Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

Aguas crudas. Son las aguas residuales sin tratamiento.

Aguas nacionales. Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Aguas pluviales. Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

Aguas residuales. Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales de proceso. Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

Aguas residuales domésticas. Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Autoridad competente. Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

Aguas residuales tratadas. Son aquéllas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Bienes nacionales. Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

Carga contaminante. Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

Condiciones particulares de descarga. El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal. El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

Contaminantes. Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Contaminantes básicos. Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos de tratamiento convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

Contaminantes patógenos y parasitarios. Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

Cuerpo receptor. Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

Descarga. Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

Descarga (al drenaje). Acción de verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Instantáneo. Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga.

Embalse artificial. Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

Embalse natural. Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

Entidad pública. Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

Estuario. Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

Humedales naturales. Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

Lago artificial recreativo. Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

Lago artificial no recreativo. Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

Límite máximo permisible. Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Metales pesados y cianuros. Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

Muestra compuesta. La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en el cuadro A1.3. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Normas Oficiales Mexicanas en materia de manejo, disposición y reuso de aguas residuales**Cuadro A1.3 Recomendaciones para la formación de una mezcla compuesta.**

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo n.e.	Máximo n.e.
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

N.E. = No especificado.

Fuente: NOM-001-ECOL-1996

Muestra simple. La que 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, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

Parámetro. Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

Promedio diario (P.D). Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Promedio mensual (P.M.). Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes. Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

Punto de descarga. Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

Reuso en servicios al público con contacto directo. Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional. Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Sistema de alcantarillado urbano o municipal. Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiendo como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

Referencias

1. Diario Oficial de la Federación. Órgano Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Lunes 6 de enero de 1998. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.*
2. Diario Oficial de la Federación. Órgano Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Miércoles 3 de junio de 1998. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.*
3. Diario Oficial de la Federación. Órgano Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Lunes 21 de septiembre de 1998. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.*
4. *Secretaría de Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Página web de internet. <http://www.semarnap.gob.mx>*

RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

En los proyectos de saneamiento de las aguas residuales, el bombeo se puede utilizar en una amplio rango de actividades que van desde la desalajo de aguas de puntos bajos dentro de un sistema de alcantarillado, hasta el abasto, desalajo y dosificación de agua cruda y tratada, lodos y soluciones químicas dentro de la planta de tratamiento.

Existen dos tipos principales de bombas: las de émbolo o reciprocantes y las centrífugas. Estas últimas se han desarrollado notablemente con la generalización de la energía eléctrica (Gardea, 1992).

Las bombas de émbolo son más convenientes para el manejo de líquidos muy viscosos (productos químicos y lodos); pero tienen la desventaja de no proporcionar un caudal constante. En el cuadro A2.1 se presentan algunos tipos de bombas utilizados en las plantas de tratamiento y sus aplicaciones.

<i>Tipo de bomba</i>	<i>Subdivisión o uso</i>	<i>Carga de succión máxima¹ (m)</i>	<i>Diámetro de sólidos máximo (cm)</i>	<i>Aplicación típica</i>
Centrífuga Son las de mayor uso en aguas residuales. Su capacidad está determinada por el diámetro y ancho del impulsor.	De doble orificio, inatascable.	4.6	> 7.6	Agua cruda. Lodos primarios. Lodos secundarios. Efluente.
	Para agua limpia.	4.6	> 2.5	Agua para limpieza. Apagadores de espuma. Pre y poscloración. Agua de solución para productos químicos.
	Tipo vórtice.	4.6	> 7.6	Recirculación de lodos. Arena.
	De flujo mixto.	4.6	> 7.6	Agua cruda. Soluciones concentradas.
	De flujo axial.	4.6	> 2.5	Efluente.
	Desmenuzadora.	4.6	-	Agua cruda. Soluciones concentradas.
Impulsión con aire (air lift)	Se usa en el proceso de lodos activados y para sacar arenas del pretratamiento y sedimentadores.	3.0	> 7.6	Agua cruda. Recirculación de lodos.
Tornilo 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 o de émbolo	Pistón.	6.7	Consultar con fabricante	Lodos digeridos

¹ A nivel del mar.
Adaptado de Leyva Campos, 1998.

Una bomba centrífuga consta de dos partes principales: el impulsor y la voluta en que se encuentra alojado. El impulsor recibe la energía mecánica transmitida por la flecha del motor de la bomba y la transmite en forma de carga de presión.

Formas de instalación de las bombas centrífugas.

Existen básicamente dos formas de instalar una bomba centrífuga: la primera consiste en colocar el impulsor por debajo del espejo de agua de cárcamo de bombeo u obra de toma con lo que la carga estática de succión de la bomba es positiva; en la segunda el rodete del impulsor se encuentra por encima del espejo de agua. En términos generales se recomienda la colocación de la bomba bajo el primer esquema ya que de esta forma el riesgo de que aparezcan bajas presiones en la rama de succión y se presente el fenómeno de cavitación disminuye de manera notable pero este tipo de instalaciones requieren una mayor inversión para la construcción, pues se requiere una mayor cantidad de excavación y obras adicionales para poder colocar las bombas por debajo del cárcamo de bombeo.

Selección de las bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas se clasifican por la forma en la cual el líquido pasa a través del impulsor y con este criterio se clasifican en: de flujo radial ($N's < 4,000$), de flujo mixto ($4,000 < N's < 8,000$) y de flujo axial ($N's > 8,000$). El tipo apropiado se determina en función de la velocidad específica por unidad $N's$, el caudal y la eficiencia.

El tamaño de la bomba se puede medir por el diámetro de su impulsor, aunque en ocasiones se hace referencia al diámetro de la brida de descarga estas medidas se dan comúnmente en pulgadas. La nomenclatura utilizada en los cálculos se describe brevemente en el cuadro A2.2.

Cuadro A2.2 Nomenclatura de los principales conceptos utilizados para el cálculo de sistemas de bombeo.

Símbolo	Concepto
A_d	Área hidráulica de la tubería de descarga.
A_s	Área hidráulica de la tubería de succión.
D	Diámetro del impulsor.
d_d	Diámetro de la tubería de descarga.
d_s	Diámetro de la tubería de succión.
H	Carga dinámica. Carga total que debe crear la bomba.
H_{ED}	Carga estática de la descarga.
H_{ES}	Carga estática de succión. Diferencia de la cota de la superficie de agua en la toma menos la superficie del agua en la cota del ojo del impulsor (negativa si el impulsor se encuentra sobre la toma y positiva en caso contrario).
H_{ET}	Carga estática total. Diferencia de la cota de la superficie libre en la descarga menos la cota de la superficie libre en la toma.
h_{fd}	Suma de pérdidas en la rama de la descarga.
h_{fs}	Suma de pérdidas en la rama de la succión.
l_d	Longitud de la tubería en la rama de la descarga.
l_s	Longitud de la tubería en la rama de succión.
P_d	Presión a la salida de la bomba (principio de la rama de descarga).
P_s	Presión a la entrada del impulsor (final de la rama de succión).
V_d	Velocidad del líquido en la rama de descarga.
V_s	Velocidad del líquido en la rama de succión.

Fuente: Gardea Villegas, 1992

Recomendaciones para la selección de bombas centrífugas

Una vez que se ha definido el tipo de bomba requerida, debe buscarse el tipo y marca de bomba más conveniente. Para ello se recurre a las llamadas *curvas características* que proporciona el fabricante y que son básicamente las representaciones de las siguientes leyes (Gardea Villegas, 1992):

- Curva de carga. Relaciona la carga de elevación con el caudal elevado (H-Q).
- Curva de eficiencia. Relaciona la eficiencia con el caudal (η -Q).
- Curva de potencia. Relaciona la potencia con el caudal (P-Q).

Las curvas características se obtienen normalmente para una velocidad de giro constante, pero es posible referir la misma bomba a diferentes valores de N. Si es así el fabricante proporciona este nuevo parámetro además del diámetro del impulsor.

Debido a que la información disponible para bombas se encuentra básicamente en el sistema inglés, en los cuadros A2.3, A2.4, A2.5 y A2.6 se presentan algunos factores de conversión útiles en el cálculo de sistemas de bombeo.

Cuadro A2.3 Factores de conversión para unidades de longitud.

Unidad		Factores de conversión					
Nombre	Abrev.	m	cm	mm	yd	ft	in
metro	m	1.000	100.000	1.000.000	1.094	3.281	39.370
centímetro	cm	0.010	1.000	10.000	0.011	0.033	0.394
milímetro	mm	0.001	0.100	1.000	0.001	0.003	0.039
yarda	yd	0.914	91.440	91.440	1.000	3.000	36.000
pie	ft	0.305	30.480	304.800	0.333	1.000	12.000
pulgada	in	0.025	2.540	25.400	0.028	0.083	1.000

Cuadro A2.4 Factores de conversión para unidades de caudal.

Unidad	Factores de conversión			
	l/s	m ³ /s	ft ³ /s (CFS)	g/min (gpm)
l/s	1.000	0.001	0.035	15.850
m ³ /s	1.000.000	1.000	35.315	15,850.323
ft ³ /s (CFS)	28.317	0.028	1.000	448.831
g/min (gpm)	0.063	6.30902E-05	0.002	1.000

Cuadro A2.5 Factores de conversión para unidades de potencia.

Unidad		Factores de conversión					
Nombre	Abrev.	Kg _r [*] m/s	w	KW	lb _f [*] ft/s	CV	HP
	Kg _r [*] m/s	1.000	9.810	9.810E-03	7.222	1.333E-02	1.313E-02
Watt ¹	w	0.102	1.000	0.001	0.736	1.362E-03	1.341E-03
Kilowatt	Kw	101.937	1.000.000	1.000	736.160	1.362	1.341
	lb _f [*] ft/s	0.138	1.358	1.358E-03	1.000	1.846E-03	1.818E-03
Caballo de vapor	CV	75.000	734.352	0.734	541.630	1.000	0.985
Caballo de fuerza	HP	76.159	745.700	0.746	550.000	1.015	1.000

¹ 1 watt = Kg^{*}m²/s²

Cuadro A2.6 Factores de conversión para unidades de energía.

Unidades Nombre	Unidad Abreviatura	Factores de conversión			
		$Kg_f \cdot m$	J	w H	Kw H
	$Kg_f \cdot m$	1.000	9.810	2.725E-03	2.725E-06
Joule ¹	J	0.102	1.000	2.778E-04	2.778E-07
Watt hora	w H	366.972	3,600.000	1.000	0.001
Kilowatt hora	Kw H	366,972.477	3,600,000.000	1,000.000	1.000

¹ 1 Joule = $Kg \cdot m^2/s^2$

Referencias

1. Gardea Villegas, Humberto. *Aprovechamientos Hidroeléctricos y de Bombeo*. Editorial Trillas, 1992.
2. Leyva Campos, Velia A. *Apsectos de Ingeniería Civil en las plantas de tratamiento de agua residual*. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1998.