

19
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**"SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DESARROLLOS
URBANOS"**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
ALEJANDRO OCHOA LOPEZ

Asesor: Ing. Salvador Acevedo M.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F. Septiembre, 1991





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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

INDICE

INTRODUCCION

FACTORES HISTORICOS

PAGINA

CAPITULO I EL AGUA EN EL VALLE DE MEXICO

I

- I.1 Fuentes de abastecimiento
- I.2 Desalojo de las aguas residuales
- I.3 Deteriores

CAPITULO II SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL VALLE DE MEXICO

37

- II.1 La calidad del agua
- II.2 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

CAPITULO III BENEFICIOS

57

- III.1 Beneficios de reducir la explotación de mantos
acuíferos del Valle de México
- III.2 Beneficios económicos y ecológicos con el
aprovechamiento del agua tratada

CAPITULO IV SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA CASAS HABITACION

72

- IV.1 Diseño preliminar de una planta de tratamiento de
aguas residuales para casas habitación
- IV.2 Tratamiento de los lodos
- IV.3 Usos del agua tratada

CONCLUSIONES

119

BIBLIOGRAFIA

121

INTRODUCCION

Las ciudades reciben agua para muchos fines: usos potables y culinarios, lavado de baños, limpiezas generales, calefacción y acondicionamiento de aire, riego de prados y jardines, riego y lavado de calles, llenado de piscinas, exhibición de fuentes y cascadas, generar energía hidráulica y de vapor, empleos industriales, usos contra incendios, eliminar desechos caseros perjudiciales y potencialmente peligrosos (aguas negras) y aguas residuales industriales. Para abastecer estos usos variados que totalizan alrededor de 378.5 Lts., por persona por día en ciudades comunes y 547,8 Lts. por persona por día o más en ciudades industriales grandes, el suministro de agua debe ser satisfactorio en calidad y adecuado en cantidad, accesible al usuario, relativamente económico y de fácil evacuación, después de que ha satisfecho sus múltiples propósitos.

Las obras hidráulicas captan el agua de las fuentes naturales de suministro, la purifican si es necesario y la entregan al consumidor. Las obras de aguas residuales colectan el agua de desecho en la comunidad. Las aguas residuales captadas se tratan y se descargan a un canal de drenado natural.

Las características especiales y temporales del agua superficial han impedido que este recurso se aproveche en mayor medida para satisfacer las necesidades de las poblaciones ubicadas en el Valle de México, por ello los manantiales y los acuíferos, han jugado un papel fundamental en la tarea de abastecer de agua a la ciudad. Este problema se resolvió en un principio mediante el empleo de los manantiales del Valle, pero éstos fueron desapareciendo al abatirse su nivel piezométrico por causa del bombeo al que fueron sujetos los acuíferos al tratar de aumentar el caudal, la extracción del agua del subsuelo se inició a mediados del siglo pasado, lo que ocasionó el hundimiento del terreno, este problema se relaciona con la hidrología de los acuíferos, con los fenómenos geológicos de estratigrafía tectónica y sedimentología que determinaron las fronteras de dichos acuíferos, y con las características físicas de los materiales que los conforman.

Dados los problemas que se han presentado en los últimos años tanto en las grandes ciudades como en desarrollos urbanos ocasionados por los requerimientos de control de polución, y la desmesurada extracción del vital líquido, se han hecho estudios para el posible uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales, los altos costos que representa el adaptar estos sistemas de tratamiento de aguas residuales, sobre todo en áreas rurales, han retardado su aplicación.

Por muchos años, investigación y desarrollos científicos han sido acompañados de sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales instalados "en sitio", en países desarrollados, éstos han sido denominados "sistemas no convencionales".

En este trabajo se incluye una descripción de las condiciones del problema que deben ser consideradas para la aplicación de estas alternativas, también se tratarán las ventajas, desventajas y limitaciones de la aplicación de los sistemas. Así como el diseño preliminar de una planta de tratamiento de aguas residuales de un fraccionamiento.

FACTORES HISTORICOS.

La historia del abastecimiento y evaluación del agua, comienza con el crecimiento de las capitales indígenas, o de los centros religiosos y comerciales, construidos como obras de magnitud y complejidad considerables, sus restos aún existentes son muestra de la grandeza intelectual de los antiguos ingenieros, los acueductos y drenajes de la antigua Roma y sus dominios, son especialmente notables.

El control de calidad del agua, como propósito es de origen reciente. Se inicia, con el crecimiento de las ciudades, en este caso, poblados industriales surgidos de la revolución industrial acaecida en el Siglo XIX. Los descubrimientos científicos e inventos de ingeniería de ese Siglo y el anterior, crearon industrias centralizadas a cuyo derredor se conglomeró la gente en busca de empleo. Se elevó así el nivel de vida de un gran número de hombres, pero la falta de organización en la comunidad creó un gran número de problemas.

Los servicios comunales de las proliferantes ciudades industriales fueron sobrecargados con rapidez, no pudieron satisfacer las necesidades de una distribución abundante de agua potable y de la evacuación efectiva de los detritos humanos y otros desperdicios. Se captó agua de ríos poluidos o de pozos de escasa profun-

didad en secciones populosas de la comunidad y se distribuyó a los patios mediante depósitos reguladores en días alternos. el esfuerzo para obtenerla era tan grande que los habitantes de los patios, la empleaban únicamente y en caso extremo, para usos que consideraban de necesidad absoluta, tales como cocinar, raramente disponían de gran cantidad para sus vestidos o aseo personal.

Aunque las ciudades estuvieron provistas de sistemas de drenaje durante siglos, aquellos fueron contruidos para conducir el escurrimiento de aguas de tormentas, y la descarga en los desechos fecales y de otra clase estuvo prohibida hasta bien entrado el Siglo XIX. Antes de esa época el uso de los drenajes existentes, fue clandestino, pues estaban destinados a la evacuación de los desperdicios. Hasta que el alcantarillado sanitario se transformó en un sistema aceptado de limpieza municipal, muchos hogares pobres estaban situados alrededor de estrechos patios que no tenían más comunicación a la calle principal que un angosto pasadizo cubierto, en estos patios había varios ocupantes, cada uno de los cuales acumulaba una fila de desperdicios, en algunos casos, estas filas eran amontonadas, por separado, en el patio, en medio del cual había un receptáculo general para drenaje. En otros casos se cavaba una fosa en el centro del patio, para uso general de los ocupantes. A veces, la totalidad de los

patios se encontraba cubierta de inmundicias hasta las puertas de las casas. En las grandes ciudades del mundo, mucha gente vivía en sótanos y bodegas, en gran número de casos, las bóvedas y letrinas se encontraban a un nivel igual o superior a las viviendas y sus contenidos se infiltraban hacia los apartamentos adyacentes ocupados, las letrinas eran pequeñas, escasas y sin ventilación o tapas.

La recepción de las materias fecales en los drenajes existentes para tormentas, pareció ofrecer un medio económico y rápido para resolver este dilema de estética e higiene, el resultado fue el caso de los drenajes combinados, llamados así por conducir tanto aguas pluviales como aguas negras, y las primitivas obras de drenaje de la mayoría de las áreas metropolitanas siguieron este esquema, aunque sus ductos eran recién contruidos. Se justifica que los drenajes pluviales originales fueran contruidos para descargar en cercanos ríos, lagos o estuarios de marea, desechos domésticos, frecuentemente se sobrecargó su capacidad receptora en materia orgánica, de este modo las incomodidades tan felizmente eliminadas de las habitaciones mediante el arrastre de aguas de materiales de desecho, se trans-

firieron a las corrientes acuáticas de la región, primeramente masas pequeñas de agua y después las mayorías, empezaron a hervir y a fermentar bajo el sol naciente, en una vasta cloaca abierta, los territorios circundados se vieron afectados por olores nauseabundos, para aliviar esta situación, fueron cubiertas y convertidas en colectores muchas corrientes pequeñas, con la desaprobación visual y sensorial, hasta que se suprimió la descarga de residuos a ellas, ya por interrupción del flujo del tiempo de sequías y tratamiento de aguas residuales colectadas o mediante la construcción de sistemas independientes de drenaje sanitarios y pluviales, con nombres que incitaron la conciencia social y despertaron la comprensión sanitaria del pueblo y sus representantes ante el gobierno, incluyeron doctores, licenciados, ingenieros, escritores y estadistas. Fue notable entre ellos Sir Edwin Chadwick, Licenciado por instrucción. Las comunidades están en deuda con él por sus contribuciones generales al avance de la salud pública, los ingenieros se destacaron por su interés específico sobre las obras sanitarias, incluyendo su apoyo hacia los pequeños colectores de barro y los sistemas separados de drenaje.

Ennoblecen este período, correctamente llamado gran resurgimiento sanitario, dos grandes investigadores médicos: el Dr. John Snow, quien en 1819, demostró a un mundo aun no bendecido por los

descubrimientos de Luis Pasteur, el papel de la polución fecal del agua potable, en la epidemia del cólera y el Dr. William Budo, quien desde 1857, en adelante, investigó la fiebre tifoidea, su naturaleza, su forma de propagación y su prevención.

Entre los Ingenieros, James Simpson en 1829, construyó filtros de considerable tamaño para la Chewea Water Company, con objeto de mejorar su suministro del Río Tamesi, el primer filtro de agua fue construido en 1804 por John Gibb en Pailey, Escocia.

El manejo sanitario de las aguas residuales interviene en cada fase de la evacuación técnica de aquellas, se inicia donde termina el suministro de aguas, en los accesorios o equipos a través de los que las aguas residuales son vertidas a los colectores, continúa con el sistema de alcantarillado a través de las plantas de tratamiento y termina solamente hasta que las corrientes u otras masas receptoras de agua han sido retornadas a su pureza deseada o se han perdido en el océano.

Además de la transmisión de enfermedades, la polución de las aguas receptoras puede causar: deterioración física, química y biológica de los abastecimientos de hielos entre otros, condiciones ofensivas a la vista y al olfato, destrucción de peces comestibles y otras formas valiosas de vida acuática, enriquecimiento

del contenido nutritivo de estanques y lagos (eutroficación), conducente a la degradación y muerte eventual de tales cuerpos receptores de agua, y otros menoscabos del goce y utilidad de las aguas naturales para recreación, agricultura, comercio e industria.

CAPITULO I

EL AGUA EN EL VALLE DE MEXICO.

I.1. Fuentes de Abastecimiento.

La gran área en la que está asentada la cuenca del Valle de México, en algún tiempo fue una zona lacustre cuyas paredes y fondo consisten en formación de rocas volcánicas, andesitas y dacitas del terciario medio y del terciario superior, dicha cuenca se encuentra llena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos, producidos en el cuaternario reciente al cerrarse la cuenca por el sur y contiene rocas y clásticos de erupciones basálticas o andesitas formadas durante todo el período cuaternario. Estas últimas formaciones permeables y de alta porosidad incluyen la Sierra de Chichinautzin, por lo que, geohidrológicamente, es probable que la cuenca no sea cerrada hacia el sur, si bien existe algún parteaguas, cuya posición se desconoce, entre el Valle de México y de Cuernavaca, sobre las andesitas al este, oeste y norte de la ciudad de México, descansa la formación Tarango, con antecedente en el plioceno por clásticos sedimentarios, depósitos de piemonte, piroclásticos, conglomerados pluviales y horizontales de pómez, es muy variado y tiene alguna cementación, por lo que no es muy permeable.

En la parte central del Valle de México, los depósitos son de origen fluvial o lacustre muy reciente, su permeabilidad depende del tamaño del sedimento principalmente, ésta varía desde arenas hasta arcillas como consecuencia de cambios climáticos que producían crecimiento y reducción en la superficie de los lagos al centro del Valle, los últimos 100,000 años fueron de mucha humedad y actividad volcánica, lo que provocó abundantes depósitos de arcilla de origen volcánico, cuya estructura formada en un ambiente húmedo es de grandes huecos llenos de agua, estos depósitos son impermeables, se hallan cubiertos por una capa de suelo vegetal o rellenos artificiales muy recientes y descansan sobre intercalaciones de arenas, limos y arcillas más permeables, en el fondo de la cuenca.

De esta información se puede ver que las formaciones acuíferas del Valle de México son sobre todo basaltos y andesitas basálticas del período cuaternario, los depósitos fluviales que rodean y subyacen, los depósitos lacustres y los clásticos de la formación Tarango.

Los estratos de arcilla superior e inferior del subsuelo, juegan un papel muy importante para el Valle de México, ya que sobre ellos descansan una buena parte de los cimientos de las edificaciones, éstos son mantos que ceden agua por lo que se asientan al abatirse las presiones en el acuífero profundo debido al

bombeo, las propiedades que influyen en el comportamiento de estos mantos son: permeabilidad, coeficiente de compresibilidad y relación de vacíos. La necesidad de abastecer de agua al Valle de México, ha sido un problema meritorio ya que el constante crecimiento de la ciudad requiere de un abastecimiento de agua que va creciendo de una forma desmedida, el área afectada por el hundimiento del terreno se ha extendido en todas direcciones, en el Valle de Xochimilco - Tulyehualco se han producido depresiones del orden de los 4 M. en menos de 20 años; algo similar ha ocurrido en los Valles de Toluca, Ixtlahuaca y Atlacomulco, en estas partes existieron alguna vez manantiales y áreas de riego que han desaparecido, produciéndose con ello un cambio ecológico importante que ha degenerado en efectos irreversibles a la ecología.

Las pérdidas económicas ocasionadas por hundimientos en edificios derruidos son incalculables, pero no sólo esto, también ha afectado simientos, tuberías, canales y acueductos que han perdido su capacidad por disminución de pendientes, si bien se ha aprendido a superar el problema ideando cimentaciones especiales para edificios y túneles capaces de aceptar hundimientos diferenciales, han surgido nuevos problemas con un carácter más peligroso al extenderse la zona afectada hacia las fronteras del sedimento no consolidado se producen asentamientos diferenciales muy grandes

en cortas distancias entre dicho sedimento y el material rígido de las fronteras. En estas zonas pueden ocurrir fallas súbitas por fatiga del material rígido, que serían catastróficas en caso de existir en zonas donde se asientan importantes infraestructuras.

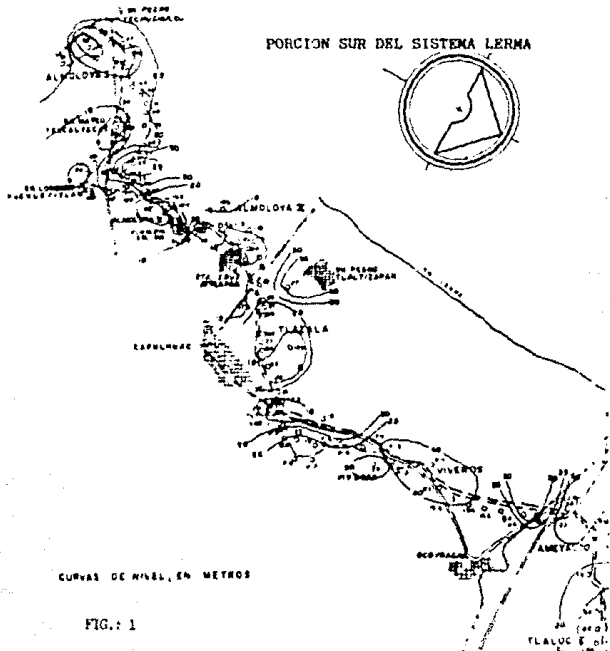


FIG.: 1

En la figura se muestra la distribución de abatimientos totales de nivel estático producidos en la porción sur del Sistema Lerma, que llegar a ser de hasta 50 M.

El agua potable que abastece el área metropolitana se capta median 1,341 pozos y algunos manantiales localizados al sur-poniente de la ciudad; también tenemos la que nos brinda el río Cutzamala, que inició en 1982 con una aportación de 7m³/seg.

SISTEMA	No. POZOS	CAUDAL PROMEDIO EN M ³ /SEG.
DIRECCION GRAL. DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA	1,132	27.4 (68)
LERMA	234	9.4
NORTE		
CHICONAUTLA	39	
POZOS MUNICIPALES	23	2.5
SUR		
XOCHIMILCO-MIXQUIC-XOTEPINGO	122	
POZOS MUNICIPALES	21	7.7
CENTRO		
POZOS MUNICIPALES	96	3.4
ORIENTE		
POZOS MUNICIPALES (PEÑON)	41	1.7
DISTRITO FED.		
PONIENTE		
POZOS MUNICIPALES RIO MAGDALENA (AGUA SUPERFICIAL)	18	0.7
COMISION NACIONAL DEL AGUA		
COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO	209	12.6 (32%)
CINCO SISTEMAS DE 6 POZOS	209	10.6
RIO CUTZAMAL (AGUA SUPERFICIAL)	-	2.0
T O T A L	1,134	40.0 (100%)

TABLA No. 1

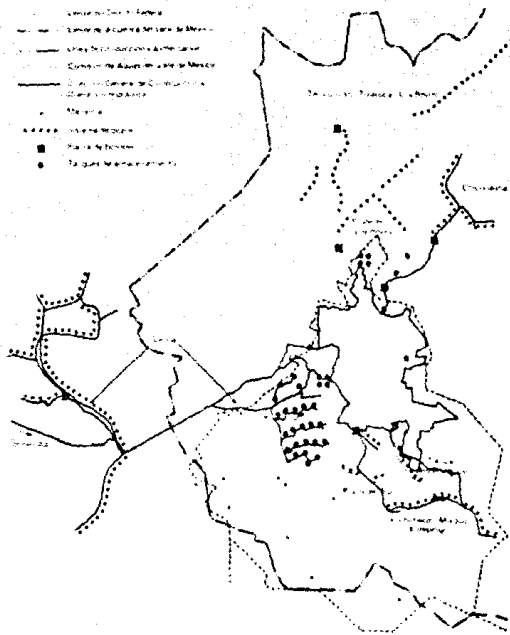


FIG.2 Fuentes Actuales de Abastecimiento.

De los sistemas operados por el D.D.F., todos ellos se localizan en el Valle de México a excepción del Sistema Lerma y prácticamente dentro del área urbana del D.F., a continuación se describen los sistemas brevemente:

1.1.1. SISTEMA LERMA

Se ubica en el Estado de México, en la parte alta de la cuenca del Río Lerma, su funcionamiento de proveer de agua al Valle de México comenzó en 1951 aportando un caudal de $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ provenientes de manantiales y de 47 pozos. En 1967 se inauguró la segunda etapa que incrementó el caudal en $6 \text{ m}^3/\text{s}$ a través de la perforación de casi 200 pozos profundos. En la actualidad el Sistema cubre una extensión de 2.20 Km^2 y cuenta con 234 pozos destinados al abastecimiento de la ciudad de México, 90 para riego agrícola y 19 para abastecimiento de agua potable de las comunidades localizadas en el área de explotación.

En general los pozos presentan diámetros de ademe de 60 cms. y su profundidad promedio es de 230 m. En 1981 se realizó un estudio para determinar los niveles estático y dinámico de los pozos, con lo siguientes resultados: la región sur presenta niveles estático y dinámico promedios de 25 y 30 m. respectivamente, en la región centro son más profundos, entre 45 y 50 mts., en las regiones de Alzate y Norte, los niveles alcanzan profundi-

dades de 40 a 90 mts. respectivamente. De los 234 pozos destinados al abastecimiento del Valle de México, únicamente 63 de ellos cuentan con equipos de arranque automático para casos de falla en el suministro de energía eléctrica, el resto es operado en forma manual.

I.1.2. SISTEMA SUR.

Se localiza al sureste del D.F. y fue el primer sistema de abastecimiento de agua de la ciudad en el presente siglo. Inició su operación en 1913 captando $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ provenientes de manantiales, luego debido a la demanda de agua, se construyeron pozos que abatieron los manantiales. La profundidad promedio de los pozos es 200 Mts. y su diámetro promedio 45 cms., los niveles estático y dinámico varían entre 15 a 100 Mts. y 20 a 120 Mts., respectivamente, algunos pozos descargan directamente a la red secundaria, el resto lo hacen a conductos que transportan los caudales a tanques o plantas de bombeo, existen algunos pozos con equipo de arranque automático, esta acción se complementa de acuerdo con un programa para lograr la automatización total del Sistema.

I.1.3. SISTEMA NORTE.

Esté formado por 62 pozos profundos, los cuales 39 constituyen el Sistema Chiconautla, localizado en el Estado de México y

cubre una extensión de 80 Kms², los 24 pozos restantes se encuentran en la Delegación Atzacapotzalco y entregan sus caudales directamente a la red secundaria, carecen de automatización para arranque inmediato en casos de falla de suministro de energía eléctrica, la explotación del sistema Chiconautla ha sido estable desde su inicio hasta la actualidad debido a que no se ha ampliado y su caudal de extracción es del orden de 2.5 m³/s., sin embargo en los últimos años los niveles estático y dinámico se han abatido por la interferencia de los sistemas de extracción, ésto ha dado lugar a adquirir equipos electromecánicos más potentes.

I.1.4 SISTEMA PONIENTE.

Se ubica en la parte poniente del D.F., la cual no cuenta con recursos hidráulicos propios importantes, no obstante en ella se regulan los caudales provenientes de Lerma y Cutzamala. En esta zona se localizan 18 pozos y algunos manantiales en las partes altas, los pozos presentan profundidades que varían entre 120 y 325 Mts., su aportación es 100 Lts/s. aproximadamente, los manantiales han aportado desde hace muchos años sus caudales a los poblados localizados en las partes altas, algunos de ellos requieren rehabilitaciones y protecciones para asegurar su suministro y la calidad del líquido, los más importantes por el caudal aportado son Santa Fé, San Bartolo Aneyalco y Ajolotes, entre otros.

1.1.5. SISTEMA ORIENTE.

En esta zona de la ciudad se ubican 41 pozos; aportan un caudal total de 1,700 Lts./s., lo que no alcanza a cubrir la demanda de la población ahí asentada, el nivel estático se localiza entre los 20 y 35 Mts. de profundidad, por lo que los pozos no son de gran desarrollo, por las condiciones geológicas, la calidad no es óptima, por lo que se han construido las plantas potabilizadoras, que tratan los caudales de los pozos localizados en la colonia Agrícola Oriental y en la Sierra de Santa Catarina.

1.1.6. SISTEMA CENTRO.

En épocas pasadas, el D.D.F., se vió en la necesidad de perforar pozos profundos en distintas partes de la ciudad para satisfacer la demanda de agua potable de sus habitantes, de estos pozos, 96 forman el Sistema Centro y aportan un caudal aproximado de $3.4 \text{ m}^3/\text{s.}$, que se emplea para cubrir una parte de la demanda de las Delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Iztacalco, Venustiano Carranza y Coyoacán. Los pozos presentan niveles dinámicos muy variados, que van desde 20 Mts. hasta 120 Mts. de profundidad, en 1972 se creó la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), organismo dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), con objeto de

proporcionar el líquido que satisficiera los incrementos de demanda del área metropolitana de la ciudad de México, dicho Organismo opera cinco sistemas de pozos que aportan un caudal de $10.6\text{m}^3/\text{s.}$, y un sistema de captación de aguas superficiales llamado Cutzamala, que aporta $1.8\text{m}^3/\text{seg.}$

En la siguiente tabla se presentan los sistemas y sus caudales:

SISTEMA	CAUDAL ($\text{m}^3/\text{seg.}$)
Sur	2,394
Pozos aislados	0,502
Texcoco	0,403
Tláhuac - Mezahualcoyotl (incluye Ampliación Tláhuac)	1,049
Norte*	6,298

TABLA No. 2

El Sistema Cutzamala, cuyas aguas provienen de la Cuenca del mismo nombre, son las primeras que recibe el D.F. de fuentes lejanas: sirve para incrementar el abastecimiento de la Zona Sur y del comercio del Poniente de la ciudad, el agua se conduce a lo largo de 90 Kms. hasta la entrada del tunel Atarasquillo Dos Ríos, donde se vierte a las instalaciones del Sistema Lerma que la hacen llegar a la Zona Metropolitana.

* Incluye los ramales Teoloyucan-FC, 1a. y 2a. etapas, y Tizayuca-Pachuca.

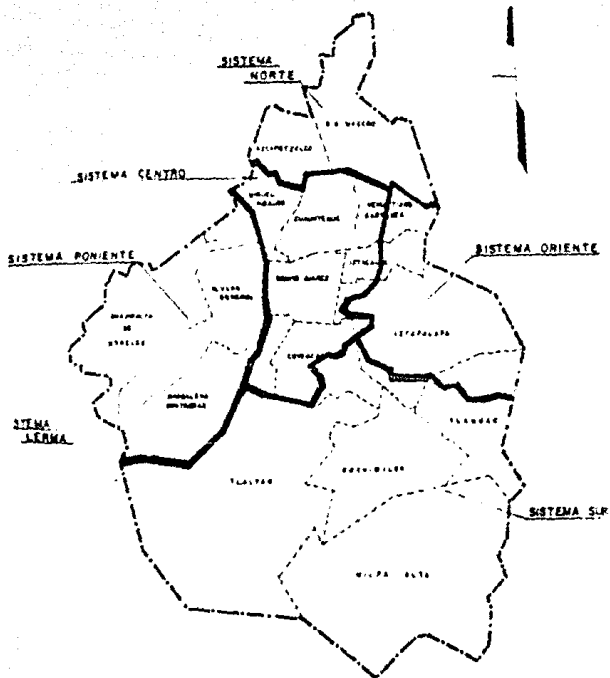


FIG. 2

REGIONALIZACION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

1.2 DESALOJO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Desde la época en que comenzaron los asentamientos humanos en Tenochtitlán por el año de 1325, la cuenca que hoy conforma el Valle de México contenía un valle lacustre cerrado con estancamiento de las aguas, la primera salida artificial que se dió fue el tajo de Nochistongo, años después de la conquista y con el aumento de población fue necesario construir la segunda salida artificial de agua que fue el túnel de Tequisquiác. Luego las zonas habitadas resintieron cuantiosos daños al ser afectadas por inundaciones cuando los ríos que atravesaban la ciudad se salían de su cauce y ocupaban las áreas bajas.

Hacia 1856, las inundaciones eran cada vez más alarmantes, y en algunas zonas su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura, se decidió emprender nuevas obras de desagüe, consistentes en el Gran Canal del Desagüe y en el Túnel de Tequisquiác, el cual constituyó la segunda salida artificial del Valle de México; ambas obras se inauguraron en el año de 1900, posteriormente se construyó el segundo túnel de Tequisquiác y después de ésto se iniciaron los trabajos de drenaje profundo que fue la cuarta salida y se dice que ésta es una solución permanente.

I.2.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE DRENAJE.

El sistema de drenaje del Valle de México tiene tres componentes principales que son: la red secundaria, que recolecta las aguas residuales producidas por los usuarios del sistema hidráulico y las conduce a la red primaria junto con los escurrimientos producidos por la lluvia. La red primaria que constituye la liga entre la red secundaria y el sistema general de desagüe, que regula y desaloja fuera del Valle de México las aguas residuales y pluviales.

La estrategia empleada en los últimos años para construir la infraestructura de abastecimiento de agua, consistió en instalar primero redes primarias y secundarias con objeto de distribuir el agua que aportan las fuentes de abastecimiento programadas, como sucedió con las aguas del Sistema Cutzamala, en el caso del drenaje, el enfoque fue distinto, no tenía sentido instalar redes a las cuales se conectasen la mayor parte de los recursos disponibles se destinaron a completar el sistema general de desagüe, principalmente el drenaje profundo, en consecuencia, el incremento de las longitudes de las redes secundarias y primarias con respecto a la situación que prevalecía en 1976, fue muy pequeño, del 5% y 7% respectivamente.

I.2.2 RED SECUNDARIA Y RED PRIMARIA.

La red secundaria de atarjeas, con diámetro de 30 cms. y 45 cms., tiene una longitud de 12,000 Kms. como se dijo antes, se trata de un alcantarillado combinado, imposible de ampliar a los lugares que no cuentan con el servicio, mientras no existan colectores a donde recarguen, y componentes del sistema general de desague que desalojen las aguas fuera del Valle de México, de cualquier manera es urgente disponer las aguas residuales para evitar la insalubridad y el riesgo de contaminar corrientes, aguas superficiales y acuíferos. Se han definido varias alternativas, dentro de las llamadas tecnologías intermedias, se plantean dos soluciones: el excusado seco y el tratamiento insitu y por separado de aguas negras y de las aguas grises que desaloja un hogar, en ambas opciones se requiere del convencimiento y la participación del usuario, así como del espacio suficiente para implantarlas, además de la adecuación de los reglamentos de construcción vigentes. Otra alternativa consiste en utilizar drenajes separados y conducir las aguas residuales hasta pequeñas plantas de tratamiento para usarlas una vez que han sido renovadas, en el caso de zonas accidentadas y con suelos rocosos, se presenta la dificultad adicional de que sería necesario utilizar tubería plástica y bombas domésticas, posiblemente sea la alternativa más adecuada para la mayor parte de los casos que es necesario resolver en el Distrito Federal.

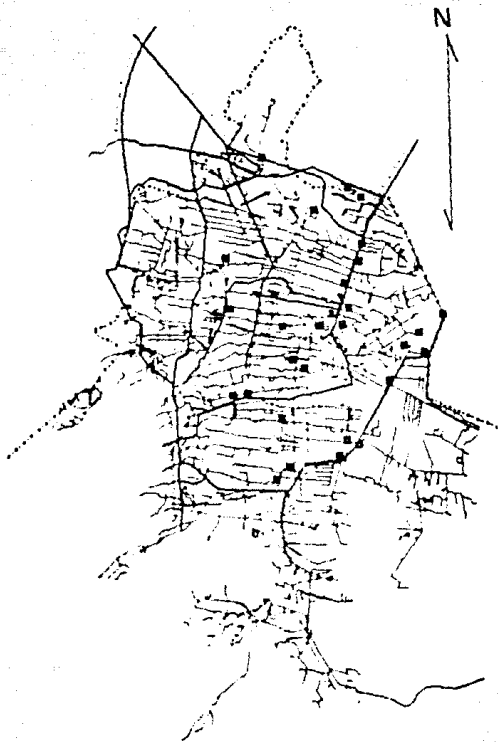


FIG.: 4

• - - - •

Límite del Distrito Federal

====

Sistema General de Desague

Red Primaria

■

Zonas de bombeo

Red Primaria de Drenaje

En relación con el desalojo de las aguas de lluvia, la situación de los lugares altos y con pendientes pronunciadas se puede mejorar si se construyen cunetas para conducir el agua hasta las barrancas y cauces cercanos, desafortunadamente, las otras regiones seguirán encharcándose e inundándose durante algún tiempo hasta que se complete el sistema general de desagüe y se puedan conectar los colectores y atarjeas.

La red primaria, constituida por colectores de 60 cms. a 3 mts., tiene una longitud de 1,176 kms. y se ha desarrollado aprovechando la infraestructura realizada a principios del siglo por el Ing. Roberto Gayol. Sobre el sistema original, se ha superpuesto en la parte central de la ciudad un segundo sistema que escurre de sur a norte, y que descarga en varios puntos sobre los conductos instalados de poniente a oriente, la configuración de la red es completa porque ha tenido que responder al crecimiento anárquico de la ciudad. Esta complejidad se ha agravado recientemente por el hecho de que otra infraestructura urbana, el metro, se construye a las mismas profundidades en donde se ubican los principales colectores (entre 4 y 8 mts. de profundidad), las interferencias se han resuelto mediante sifones, los cuales disminuyen la eficiencia en la operación de la red primaria, la única solución al problema es sustituir dichos colectores por otros nuevos que se instalen entre los 12 y 18 mts. de profun-

didad, el problema se torna más agudo mientras más líneas de metro se construyen en la misma zona, porque la red primaria tiene que ubicarse a profundidades cada vez mayores.

Tanto las redes primarias como las secundarias están expuestas a dislocamientos y deformaciones provocadas por el asentamiento del subsuelo; este problema, y los azolves provocados por el arrastre del suelo y la basura, ocasionan la reducción en la capacidad original de los conductos, las dificultades son de magnitud considerable: en 1980 se calculaba que se necesitarían 2,500 millones de pesos de entonces para desazolvar la red de drenaje en un período de tres años, pero los recursos que se han podido dedicar a esta actividad son muy inferiores a los requeridos.

1.2.3 SISTEMA GENERAL DE DESAGÜE.

La función de este sistema, consiste en regular y desalojar posteriormente las aguas residuales y pluviales a través del tajo de Nochistongo, de los túneles de Tequixquiac y del portal de salida del drenaje profundo.

Conductos entubados: incluyen túneles excavados en

roca, como el interceptor y el emisor poniente, y varios ríos que, como el Churubusco y el de la Piedad se han entubado, las características, los problemas y las soluciones son distintos en cada conducto, como podrá apreciarse más adelante al presentar con mayor detalle los aspectos específicos de cada zona de drenaje urbano del Distrito Federal.

Conductos a cielo abierto. El sistema general de desagüe incluye varios cauces naturales a cielo abierto, los cuales conducen principalmente aguas pluviales; sin embargo, en su mayoría están contaminados por aguas residuales y basura, lo que provoca problemas de salubridad.

Al norte se encuentran los ríos de Cuauhtepac, San Javier, Tlanepantla y Remedios y al sur de San Buenaventura, el Canal Nacional y el Canal de Chalco. Estos cauces sufren sistemáticamente fisuras, fugas de agua y fallas de los bordos, problemas que se agudizan cada vez más, por la enorme cantidad de basura y azolve que invade los cauces y por el aumento de los caudales, ocasionado a su vez por el crecimiento de la mancha urbana, por estas razones, las cuencas deberán sanearse para eliminar focos de infección; sin embargo, como en varios de los cauces y es posible lograr ésto, será necesario entubarlos, esta medida debe ser implementada en los canales de Chalco y Nacional, en los que, por los asentamien-

tos diferenciales regionales, es necesario profundizar los cauces para que puedan efectivamente formar parte de la red de desagüe. El Gran Canal es el conducto a cielo abierto más importante del sistema general de desagüe, desde principios de siglo, ha sido un elemento vital para la ciudad.

Estructuras de regulación. Los escurrimientos producidos por lluvias intensas tienen picos grandes de corta duración, fenómeno que se acentúa al urbanizarse el terreno, por ello, ha sido necesario construir estructuras que permitan almacenar el agua mientras transcurre el lapso crítico de una tormenta, para después desalojar caudales menores por la red de colectores.

En el futuro, las estructuras de regulación más atractivas serán las lagunas artificiales y ninguna presa pequeña, pero es indispensable que en los planes de desarrollo urbano se reserven exclusivamente para ese fin los lugares identificados como propicios para ello, en cambio, con el avance logrado en el drenaje profundo se ha podido prescindir de algunos tanques de tormenta, y es posible que se clausuren otros.

Plantas de bombeo. Las plantas de bombeo son elementos indispensables para el sistema de drenaje; operan todo el año para desalojar las aguas residuales y durante la época de lluvias para desalojar

las aguas pluviales de zonas bajas, aún después de que se concluyan las obras del drenaje profundo las plantas seguirán operando en el estiaje para desalojar las aguas residuales y en épocas de lluvias para dar mayor flexibilidad a la operación del desagüe general.

I.2.4 DRENAJE PROFUNDO.

La primera etapa de este sistema se concluyó en el año de 1975 y ahora es el componente más importante del sistema general de desagüe. Prácticamente no es afectado por los asentamientos del terreno y opera por gravedad, sin necesidad de bombeo, razones por las cuales constituye una obra durable y económica a largo plazo, aún cuando requiere de cuantiosas inversiones el emisor central, que descarga a través de su portal de salida al Río el Salto, es un túnel de 6.5 mts. de diámetro, 50 kms. de longitud y $200 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad, los interceptores oriente y central, con 10 kms. y 8 kms. de longitud respectivamente, formaron juntos con el emisor central la primera etapa del drenaje profundo, la segunda etapa, iniciada en 1977, incluye la prolongación de 5.5 kms. del interceptor central y el nuevo interceptor centro-poniente, con 16.5 kms., lo que implica contar con una longitud de 90 kms. de drenaje profundo, en 1979 se consideraba que en la segunda etapa, se terminarían 31 kms., pero sólo se construyeron

22 kms., las profundidades a las que se trabaja varían desde 20 mts. hasta más de 200 mts., es la complejidad provocada por el tipo de suelos que se requieren excavar.

De acuerdo con los problemas específicos de cada zona de drenaje urbano, se ha definido para el futuro la secuencia de construcción más favorable.

El drenaje profundo se opera por lo general sólo en época de lluvias, pero en ocasiones durante el estiaje se utiliza el interceptor oriente para aliviar el gran canal de desagüe, sin embargo, el agua derivada no puede conducirse hasta los distritos de riego de la cuenca del Río Tula, lo cual produce algunos inconvenientes porque el agua del gran canal es utilizada para el riego agrícola, principalmente en la zona mencionada, el hecho de tener que enviar $30 \text{ m}^3/\text{s}$, impone algunas restricciones a la operación de varios de los componentes del sistema general de desagüe, a causa de que el agua conducida por el drenaje profundo no puede emplearse para el riego de los distritos mencionados.

1.2.5 ASPECTOS REGIONALES.

ZONA PONIENTE.

Esta zona es la que tiene la topografía más accidentada y las

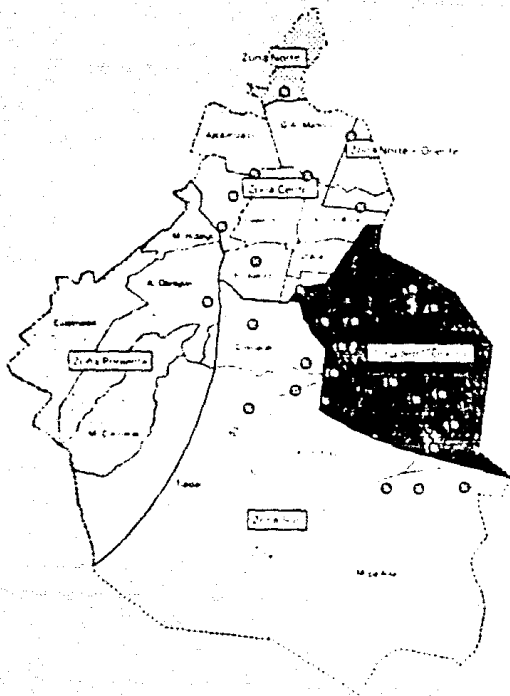


FIG.: 5

..... Límite del Distrito Federal

- - - - Límite de Delegación

○ Zonas de encharcamiento e inundación

Lugares expuestos a inundaciones y encharcamientos.

pendientes más pronunciadas, los caudales que conduce el interceptor del poniente son desalojados en parte por el Río de los Remedios ubicado en la zona norte, ahí se localizan 32 pequeñas presas con una capacidad total de 7 millones de m³ aproximadamente, las cuales se empezaron a construir en la década de los años treinta, la función de todas estas presas consiste en regular los escurrimientos producidos en las sierras del poniente para evitar que inunden la ciudad, sin embargo, poco puede aprovecharse de esa capacidad de regulación porque prácticamente todas las presas se encuentran en malas condiciones, varias de ellas tienen problemas estructurales y sus mecanismos de control no funcionan a causa de su mantenimiento precario de basura ocasionando que los vasos pierdan capacidad y que el azolve llegue incluso hasta el interceptor poniente, en esta zona, año tras año se requiere desazolver los vasos y ese interceptor, además, por el continuo proceso de urbanización, muchos de ellos han sido invadidos por asentamientos humanos, lo mismo que buena parte de los cauces, es indispensable realizar labores de reforestación, lograr un manejo adecuado de los suelos y sanear las cuencas; todo ello, además de beneficiar a los habitantes y de mejorar su medio ambiente, hará posible una reducción en los recursos destinados a desazolve y mantenimiento de las estructuras de regulación.

La escasa capacidad de regulación de las presas, junto con la acelerada urbanización, han ocasionado que el interceptor del

ponente capte escurrimientos cada vez mayores; por ello, ya es insuficiente su capacidad e incluso su comportamiento es crítico durante lluvias no muy intensas, porque año con año aumenta la presión de este conducto y no puede ser aliviado derivando más agua hacia los ríos Churubusco, La Piedad, Consulado y San Joaquín, puesto que, a su vez, esos conductos ya trabajan a toda su capacidad.

ZONA SUR.

El principal escurrimiento pluvial de la zona se genera en la cuenca del Río San Buenaventura, y las pendientes pronunciadas ocasionan que los caudales se concentren rápidamente en las partes bajas, las cuales son difíciles de drenar por falta de pendientes y porque en algunos lugares el hundimiento del suelo alcanza valores muy altos.

Se cuenta con dos conductos cerrados principales, que son el Río Churubusco y el Canal de Miramontes, y con tres conductos a cielo abierto: el Río San Buenaventura, el Canal Nacional y el de Chalco. El Río Churubusco se comenzó a entubar en 1962; los últimos 5.4 kms. de un total de 18 kms., se concluyeron en 1980 y recientemente se terminó la planta de bombeo en su descarga al Lago de Texcoco. Dicha planta permite vaciar el cajón antes de una tormenta y aprovechar así su capacidad de regulación de

400,000 m³. Este río es un elemento de suma importancia para el drenaje de la ciudad, el Río San Buenaventura termina en su confluencia con el Canal Nacional, y frecuentemente se desbordaba por falta de pendiente y capacidad del cauce, con la rectificación del Canal Nacional se han absorbido las avenidas del río y se captan los escurrimientos de algunas zonas aledañas a éste.

ZONA SUR - ORIENTE.

En esta zona, además de compartir con la zona sur los problemas de hundimiento del terreno y la falta de infraestructura primaria de drenaje, tiene el agravante de que es completamente plana y de que ahí se localizan los suelos más difíciles de excavar en el Distrito Federal, como en la zona sur, la solución definitiva es la ampliación del drenaje profundo. Aunque no se cuenta con infraestructura primaria, es indispensable disponer las aguas residuales para resolver así problemas de insalubridad y contaminación, porque más de 600,000 habitantes carecen de servicio de alcantarillado. El problema de los hundimientos se ha extendido también a la zona turística de los canales de Xochimilco, al no existir control de los niveles de agua, éste reconoce las partes bajas, las cuales se localizan en el área aledaña al canal de Cuemanco y en las ciénegas chica y grande, la solución futura consta de dos acciones principales; por una parte, se plantea

la formación de lagos, así como el control hidráulico. El lago se dividirá en tres niveles mediante bordos y ataguías, los excedentes se controlarían mediante vertedores de cresta libre y la comunicación entre los tres lagos se lograría con escollos, por otra parte, se plantea utilizar agua renovada para reponer los volúmenes e instalar plantas de bombeo para que cada una de ellas provoque la circulación del agua.

Con las obras de drenaje en la Delegación de Xochimilco se dá servicio a los pueblos del sur; dichas obras consisten en un colector madrina, varias plantas de rebombeo y la planta de tratamiento de San Luis, de esta manera se ayuda a sanear la zona al extenderse las descargas de aguas residuales a las áreas de cultivo y a los canales de Xochimilco.

ZONA NORTE - ORIENTE.

Todos los habitantes de esta zona cuentan con servicios de alcantarillado, y el gran canal de desagüe, de 47 kms. de longitud, constituye el principal elemento de su sistema de drenaje, dicho canal recibe agua de la zona mediante plantas de bombeo, así como a través de colectores, por gravedad, en su parte septentrional, además le llegan descargas de los ríos los Remedios, Tlanepantla y San Javier, y durante el estiaje desaloja las aguas residuales

de gran parte de las zonas centro y norte, el gran canal, que ha con-
ducido caudales superiores a los $100 \text{ m}^3/\text{s}$, descarga sus aguas a tra-
vés de los túneles de Tequixquiac y del río Salado de la cuenca
del río Tula, en donde se aprovechan para el riego agrícola, en
la época de lluvias y ocasionalmente durante el estiaje, es
aliviado mediante el interceptor oriente, las partes de la zona
que descargan con plantas de bombeo al gran canal han sido afectadas
por los hundimientos del terreno; por esta razón el agua no llega
a las bombas, lo que a su vez ocasiona inundaciones. Además,
cuando en la época de lluvias los niveles son altos, el agua
se regresa por los colectores que deben descargar en el canal
por gravedad. Estas dificultades se resolverán cuando se complete
la infraestructura existente, el colector 26 de julio paralelo
al gran canal, mejorará la situación de la zona una vez que sea
captado por la obra de toma del interceptor oriente.

Por problemas de estabilidad en sus bordos, los niveles de operación
del gran canal están restringidos, por lo tanto, también están
limitados los caudales que pueden admitir. Por esta razón conviene
entubar sus primeros 9 kms., lo que evitaría los problemas de
hundimiento del terreno y eliminaría un foco de infección que
atraviesa una extensa zona urbana, pero, dado que esta medida
implica una inversión cuantiosa y que existen otros problemas
más urgentes en el Distrito Federal, se considera una acción

a realizar en largo plazo, este entubamiento se haría hasta la confluencia del río de los Remedios mediante un túnel de 5 m. de diámetro, de esta manera, al bajar la plantilla se podrían eliminar las plantas de bombeo existentes y los colectores actuales y futuros podrían descargar por gravedad, aunque sería necesario instalar una planta de bombeo al final del conducto semiprofundo para llevar el agua a la parte no entubada del gran canal. Desde luego, será necesario modificar la obra de toma hacia el interceptor oriente, pero el gran canal ya entubado podría operar como colector madrina y así se eliminarían las estructuras de captación hacia el interceptor oriente, las cuales se encuentran en un colector paralelo al gran canal. Esta modificación proporcionaría también mayor flexibilidad de operación en la zona al contarse con dos conductos subterráneos: el túnel Gran Canal y la prolongación del interceptor oriente, paralela al gran canal.

ZONA NORTE.

Esta es una zona pequeña que si se compara con las otras cinco, tiene dos cuencas de captación propias, las de los ríos Cuauhtepc y Tmoluco, sus problemas se deben por un lado a que los últimos años se ha registrado un alto incremento demográfico y como no se cuenta con red primaria para recolectar las aguas residuales ni para conducir las al sistema de drenaje del D.F., existen pocas

colonias con servicio de alcantarillado, parte de las aguas negras son descargadas al río San Javier y a los afluentes del río Cuautepec.

Por otro lado, los problemas se relacionan con el drenaje del agua de lluvia: la sierra de Guadalupe es muy escarpada; por ello, los escurrimientos en los ríos Cuautepec y Temoluco llegan para regular el río Cuautepec, él puede ganar avenidas hasta de $100 \text{ m}^3/\text{s}$; sin embargo, también hace falta construir en las laderas obras de defensa muy costosas, pero necesarias para proteger las partes urbanizadas y conducir el agua al río Cuautepec; posteriormente se requerirá rectificar el río. La entubación de los ríos Tlalnepantla y San Javier es menos importante que la del río de los Remedios, ya que su efecto es más local y está condicionado por los alivios que se construyan hacia el drenaje profundo, la decisión puede posponerse de acuerdo con las posibilidades financieras, aunque esta acción podría volverse urgente a causa de la velocidad con que se está urbanizando la zona, con fraccionamientos privados y de interés social.

ZONA CENTRO

Se encuentra urbanizada en su mayor parte y prácticamente la totalidad de la población cuenta con servicio de alcantarillado, es la zona que tiene mayor número de interacciones con las demás,

porque los conductos que la drenan también absorben el agua proveniente de otras partes de la ciudad, cuenta con suficiente infraestructura, no obstante, los colectores tienen enormes longitudes antes de conectarse con los drenes principales, se inician en el poniente y terminan en la parte oriente de la ciudad, descargando el gran canal, o bien al río Churubusco, el hecho de que descargan por bombeo hace aún más complicado su funcionamiento, un caso típico de esta situación era el colector No. 15, el cual recorría 20 kms. de Azcapotzalco al gran canal, antes de que recientemente se aliviara hacia los interceptores central y centro-poniente; gracias a ello, la ocurrencia de inundaciones en la zona se ha reducido notablemente, el colector central también ha mejorado la situación y se puede decir que en la región del Zócalo el drenaje se hace por gravedad.

Existe un colector que ha presentado problemas y es el que descarga en la planta de bombeo de Aculco, el colector que descarga en dicha planta es el de Apatlaco, el cual recibe las aportaciones de los colectores Ejido Ixtacalco Sur y Ejido Ixtacalco Norte. La confluencia de estos dos últimos colectores 14, 16, 18, 20 y 22; en el sur, estos problemas afectan a su vez el funcionamiento del colector Miranontes, por sí fuera poco, esta deficiencia se agrava a causa de los sifones que existen en los colectores 14, 16, 18 y 22 en el cruce con la línea tres del metro, porque

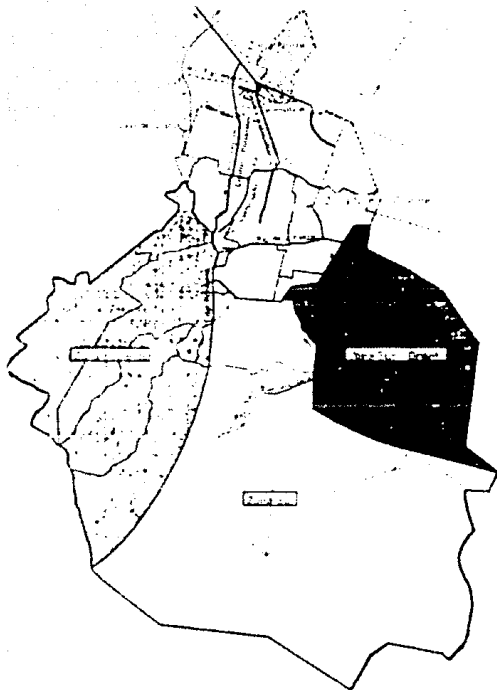


FIG.: 6

- Límite del Distrito Federal
- . . . Límite de Delegación
- ===== Drenaje profundo
- Conducto entubado
- .-.-.-.- Conducto a cielo abierto

Zona de drenaje urbano en el Distrito Federal.

se generan encharcamientos de consideración en la colonia del Valle.

El río de la Piedad presenta problemas estructurales, además ya no puede absorber caudales mayores que los que conduce actualmente debido a las malas condiciones en que se encuentran algunas plantas de bombeo.

Es importante resaltar que la zona centro está tan urbanizada que no es posible resolver su problema de drenaje mediante obras de regulación y bombeo, por lo que la solución dependerá de conducciones semiprofundas y profundas para el caso de problemas locales, y de la evolución de las soluciones que se apliquen a los problemas que enfrentan las otras zonas de la ciudad.

1.3 DETERIOROS

La calidad del agua que se extrae de los acuíferos se ha ido degradando como resultado de la sobreexplotación y del crecimiento urbano en zonas permeables, que permiten su contaminación, esto trae como consecuencia que el control y vigilancia de la calidad del agua tome más atención e importancia que los aspectos cuantitativos del recurso. Esto también es válido para las fuentes de abastecimiento futuras, que por ser superficiales presentan mayor posibilidad de contaminación.

El deterioro generalizado de la calidad del agua en los pozos, en los aspectos físicos y químicos, no ha rebasado los límites de tolerancia establecidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, y en los casos afirmativos, como algunos pozos del oriente de la ciudad, se han instalado plantas potabilizadoras.

Cuando se ha detectado la presencia de coliformes totales, la operación del pozo se suspende hasta corregir el problema y eliminar la causa, reiniciándose la operación y monitoreo de la calidad del agua diariamente hasta asegurar la falta de presencia de coliformes.

La calidad del agua durante su transportación y estancia en los tanques de almacenamiento no sufre modificaciones sustanciales, los casos que han presentado problemas de contaminación bacteriológica, han sido inmediatamente resueltos, sin embargo, se requiere de un programa permanente de mantenimiento y limpieza.

También se han presentado problemas en la calidad física, química o bacteriológica de las redes de distribución como resultado de la anarquía con que se han desarrollado, antigüedad de algunas líneas, falta de agua y fugas que se presentan en las tuberías, la operación discontinua de la red motivó que los usuarios adoptaran la costumbre de instalar tinacos y cisternas, que si no

son limpiados periódicamente, contaminan el agua,

Hasta ahora ha bastado desinfectar el agua con plantas cloradoras, siendo necesario en algunos casos un tratamiento más complejo al cual haremos referencia más adelante, la infraestructura con que cuenta el sistema de agua potable para controlar la calidad, consiste en 235 pequeñas plantas de cloración diseminadas en toda la ciudad, a fin de desinfectar individualmente el agua de manantiales y los pozos municipales de dichas plantas, 227 emplean hipoclorito de sodio en solución y las ocho restantes cloro gaseoso. Además existen nueve plantas mayores que cloran o recloran los caudales integrados de conjuntos de pozos, y cuatro que utilizan procesos químicos para acondicionar la calidad del agua, en dos de estas últimas se da un tratamiento avanzado mediante ozonización.

I.3.1 REUSO DEL AGUA.

El constante aumento de la demanda de agua y las inversiones para satisfacerla, hacen atractivo reutilizar el agua con base en la idea de utilizarla renovada en aspectos que no requieren agua potable, el D.D.F. ha creado en los últimos 35 años una infraestructura que comprende ocho plantas de tratamiento y 500 kms. de tuberías para su distribución, además de los camiones

cisterna existentes, la capacidad instalada actual es de $4.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$ de la cual sólo se aprovechan 595 para llenado de lagos y canales y riego de áreas verdes, aunque el mayor volumen de entrega a los usuarios es a través de la red de distribución, pero también se han instalado garzas para abastecer a pipas que auxilian con el riego de camellones y parques públicos, ubicados en zonas donde no es costuable instalar la red.

Para conocer la capacidad de las aguas disponibles y establecer el tratamiento que deben recibir para utilizarse, durante los dos últimos años se monitoreó en forma sistemática en la red de drenaje 152 parámetros, que definen la cavidad física, química y bacteriológica del agua.

CAPITULO II

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL VALLE DE MEXICO.

II.1 LA CALIDAD DEL AGUA.

II.1.1 SISTEMA HIDRAULICO DEL VALLE DE MEXICO.

Existe un sistema de vigilancia de la calidad del agua, a través del cual se realiza la evaluación continua del sistema de abastecimiento de agua potable, comprende el monitoreo de la calidad física, química y biológica del agua, inspección sanitaria de las instalaciones que forman parte del sistema de suministro.

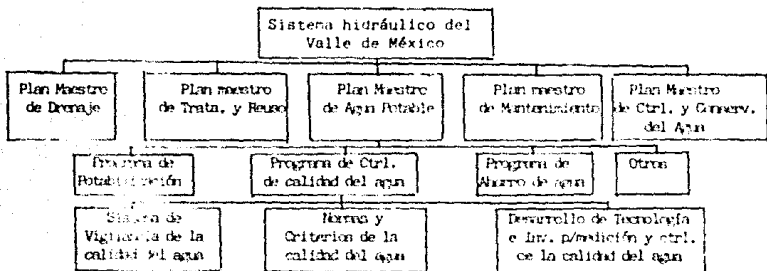


TABLA No. 3

II.1.2 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Generalmente se acepta que el agua que ingresa al sistema de distribución, desde las fuentes de captación y después de su tratamiento, se mantiene en las mismas condiciones hasta que llega al usuario; para lograrlo se requiere el control de la calidad, las condiciones teóricas que permiten este control son:

- . Agua tratada estable en sus atributos físicos y composición química.
- . Agua biológicamente inocua.
- . Sistemas de conducción, regulación distribución e instalaciones complementarias, inertes al agua que transportan, y protegidas sanitariamente para evitar contaminaciones.

II.1.3 ELEMENTOS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Vigilancia de la calidad del agua.- Comprende los aspectos de inspección técnica a instalaciones y componentes del sistema de agua potable, las actividades del monitoreo de la calidad del agua, el procesamiento de la información de campo y de

laboratorio, la toma de decisiones para mejorar la calidad del agua y la verificación de acciones preventivas y correctivas realizadas por áreas operativas, desarrollo de tecnología e investigación. Trata los aspectos de acopio y evaluación de tecnologías sobre medición y control de calidad, investigación de compuestos químicos que afectan la calidad del agua, evaluación de daños a la salud por la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos en el agua de suministro, investigación de procedimientos de medición de calidad de agua, e investigación y desarrollo de procesos de potabilización, principalmente.

Normas y criterios de calidad de agua. Abarcan la evaluación de normas y criterios de calidad de agua a nivel nacional e internacional, y de niveles de calidad requeridos de acuerdo con el uso que se destine al agua.

Dentro de los elementos que integran el control de calidad, el de vigilancia constituye el centro motriz, ya que es el más directamente relacionado con la operación del sistema de abastecimiento.

La observación de los elementos que forman el control de calidad determina la forma idónea en que un problema de calidad de agua puede resolverse satisfactoriamente.

TABLA No. 4

FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR LA CALIDAD DEL AGUA POR DISEÑO, CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DEFICIENTES.

AREA DE RIBAZCA	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	OBRAS DE CAPTACION	OBRAS DE CONDUCCION	TRATAMIENTO	ALMACENAMIENTO Y REGULACION	DISTRIBUCION
USO DEL SUELO	-OVEREXPLOITACION	-LOCALIZACION	-TIPO DE SISTEMA	-PROCESO	-LOC. INADECUADA	-DIFERENCIAS EN LAS
*URBANO	-PROTECCION	INADECUADA	*PRESION	INADECUADO	-PROTECCION DEFICIENTE	TAJAS O CLAVES DESTINADAS
*AGRICOLA	INADECUADA	-CONSTRUCCION	*GRAVIDAD		-ENCUENTROS SUPERFICIALES	-CONTAMINACION
*INDUSTRIAL	-CALIDAD NATURAL	INADECUADA	*CANAL ABIERTO	-UNIFORME	-DESARROLLO DE MICROORGANISMOS	-MATERIALES NO ADECUADOS
	INADECUADA	-FALTA DE DESINFECTACION DE LAS OBRAS ANTES DE CERRAR	-CANAL DE BAJA PRESION	-RECURSOS HUMANOS NO CAPACITADOS	-FALTA DE DESINFECTACION DE LAS LINEAS	-MATERIALES NO ADECUADOS
MANEJO DE RECURSOS HIDROLÓGICOS	-CONTAMINACION POR ACTIVIDADES HUMANAS		-SISTEMAS ACCESORIOS		-DESARROLLO DE MICROORGANISMOS	-MATERIALES NO ADECUADOS
*ABASTECIMIENTO	*AGUAS SUBTERRANEAS		*VALVULAS DE DESAGUE, DE AIRE Y DE SECCIONAMIENTO		-FALTA DE DESINFECTACION DE LAS LINEAS	-MATERIALES NO ADECUADOS
*OTROS DE ABASTECIMIENTO	*BASILARAS		*FALTA DE DESINFECTACION DE LAS OBRAS	-DESINFECTACION DEFICIENTE	-DISEÑO Y/O CONSTRUCCION INADECUADA	-MATERIALES NO ADECUADOS
*USOS DEL AGUA	*RESTORACION AGRICOLAS				*RESISTENCIA SANITARIA INADECUADA	-MATERIALES NO ADECUADOS
	*ARTIFICIALES				*FALTA DE VENTILACION	-MATERIALES NO ADECUADOS
	*INDUSTRIALES				*ALIMENTACION DEFICIENTE	-MATERIALES NO ADECUADOS

II.1.4 MUESTREOS DEL AGUA.

Para llevar a cabo un sistema de muestreo del agua eficiente se deben tomar muestras y coleccionar datos de campo, que por su naturaleza deben registrarse en sitio, como la temperatura ambiente y del agua, el cloro residual y libre total, el PH y la presión del agua en la toma. Asimismo, se observa cualquier irregularidad como: fugas visibles, conexiones clandestinas, medidores obstruidos o descompuestos, deficiencias en la calidad del agua, presiones bajas y algunas otras situaciones. Los muestreos comprenden la selección de los parámetros que permiten reflejar lo más fielmente posible el estado de la calidad del agua y el establecimiento de los valores máximos y mínimos tolerables de acuerdo con las normas y especificaciones que se encuentren vigentes.

Existen parámetros que se usan para vigilar la calidad del agua, éstos se encuentran en investigación para determinar su potencial de toxicidad, estos parámetros se pueden clasificar como: a, aa, aaa y aaaa.

El conjunto de parámetros está enfocado a detectar niveles de contaminación bacteriológica y análisis de campo, como cloro libre residual, PH y temperatura. Como parámetro adicional se incluye la turbiedad, debido a la correlación que se da

entre ésta y los niveles de concentración de micro organismos.

El grupo aa permite obtener un perfil mínimo de la calidad del agua potable de acuerdo con las características físicas y químicas que se presenten.

El grupo aaa se determinó para cubrir todos los parámetros incluidos en las normas mexicanas de la calidad de agua potable.

Los parámetros aaaa se basan en las experiencias internacionales sobre calidad de agua, se incorporaron parámetros que incluyen metales y raza, compuestos orgánicos y biocidas considerando que con los parámetros anteriores se puede tener una imagen detallada de los compuestos que se encuentran presentes en el agua.

FRECUENCIAS DE MUESTREO EN SITIOS FIJOS Y SU CORRELACION CON
EL TIPO DE ANALISIS QUE SE REALIZA

DESCRIPCION DEL SITIO	AAA	AA	A
Pozos de sistema	anual	anual	- - -
Pozo municipal	anual	anual	anual
Pozo particular	- - -	- - -	semestral
Tanque:			
A)C* $\geq 20,000 \text{ m}^3$	cuatrimestral	- - -	quincenal
B)C* $\leq 20,000 \text{ m}^3$	cuatrimestral	- - -	mensual
Entrada de agua en bloque	semestral	mensual	diaria
Estación de bombeo	cuatrimestral	- - -	- - -
Red primaria	cuatrimestral	- - -	- - -
Manantial	trimestral	- - -	- - -
Planta potabilizadora	bimestral	quincenal	semanal
Corriente superficial	cuatrimestral	cuatrimestral	- - -

* C Capacidad

TABLA No. 5

II.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

II.2.1 TRATAMIENTO PREVIO DEL AGUA.

Cribado.- Se trata de eliminar los elementos de grandes dimensiones que se encuentran en el agua de albañal (trapos, materias plás

tisan, ...) y que podría entorpecer el funcionamiento hidráulico de la planta. Se intercala con este fin una rejilla cuyas barras tienen una separación del orden de un centímetro, los desechos de las rejillas se mezclan generalmente con los lodos cuando, por su naturaleza y sus dimensiones son semejantes a los desperdicios domésticos, esta mezcla no tiene importancia cuando se prevé la incineración de los lodos, pero se debe evitar para los demás tratamientos y la aplicación de los mismos.

Separación del aceite.- Las aguas urbanas de desecho contienen a menudo materias flocculantes que pasan a través de las rejillas (aceite, hidrocarburos, restos de grasa, fragmento de materia plástica, ...) los aceites y los hidrocarburos forman una capa delgada en la superficie, entorpeciendo así el proceso de aereación en el caso de los lodos activados, en cuanto a las materias sólidas flotantes, se corre el riesgo de que formen tapones que pudieran obstruir los canales o los orificios de la planta; por lo tanto, es necesario atrapar dichas sustancias en el nivel del tratamiento preliminar, por medio de un dispositivo de desnatado, al igual que en el caso de los desechos de las rejillas, los residuos del desaceitado no se deberán mezclar con los lodos, a menos que se prevea una incineración.

Desarenado.- Después del cribado quedarán aún en el agua fragmentos sólidos que puedan decantar con facilidad, pero cuya dureza

y tamaño relativamente importante, superior a 0.2 mm. de diámetro, podrían llevar a la abrasión de ciertos elementos de la planta de tratamiento, en especial las bombas, estos materiales fácilmente decantables se eliminan en pequeños tanques rectangulares o circulares, las "arenas" así separadas se podrán mezclar sin mayores problemas con los otros lodos, a menos que sean fermentables; por otra parte, existen desarenadores aereados para mitigar este inconveniente.

Decantación.- Con el fin de facilitar la precipitación de las materias en suspensión, de un diámetro inferior a 0.2 mm. se hace circular el agua lentamente dentro de un tanque donde se rastrilla o aspiran periódicamente los materiales acumulados en el fondo.

En la mayoría de las plantas de depuración se efectúan dos decantaciones: una de las aguas que salen del tratamiento previo; la otra, después del tratamiento biológico (o químico), en esta sección se hablará de los lodos de decantación primaria, los lodos así formados contienen una elevada proporción de materia orgánica.

Filtración.- Como en el caso de la decantación, se puede efectuar la filtración de aguas crudas previamente tratadas, así como

de aguas posteriormente tratadas por medios biológicos o químicos. Sin embargo, el contenido elevado de materias coloidales y mucilagos de las aguas crudas dificultan su filtración, excepto en el caso de filtros cuyas mallas sean bastantes grandes, del orden de una décima de milímetro, lo cual carece de interés.

II.2.2 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Estos tratamientos consisten en el consumo de la materia orgánica contenida en las aguas de desecho y de una parte de las materias nutrientes (nitrógeno y fósforo) por parte de microorganismos ya presentes en dichas aguas, y como generalmente en presencia de aire u oxígeno, el crecimiento de la fauna y la flora origina la formación de flúculos que se eliminan por decantación o filtración.

A) Lodos activados.- Las aguas de desecho son aereadas por medio de turbinas en la superficie del agua, o por tuberías de aire comprimido, de oxígeno o de aire enriquecido con oxígeno colocadas en el fondo de un tanque, después de este tratamiento, las aguas se decantan nuevamente; una parte de los lodos se envía de nuevo al tanque de activación a fin de mantener la población de microorganismos que intervienen en la depuración; el resto de los lodos se extrae para someterlos a otro tratamiento

Mientras mayor sea la carga orgánica (DBO en kg/m^3) mayor será la cantidad de lodos producida, pero el rendimiento disminuirá, la carga orgánica de las aguas urbanas de desecho varía entre 0.15 y 0.35 kg de DBO/ m^3 .

B) Lechos bacterianos.- Este procedimiento consiste en hacer escurrir las aguas de desecho decantadas a través de una masa de piedras o de materiales plásticos que presentan una gran superficie y sobre las que se desarrolla una película bacteriana (zooglea) que consume las materias orgánicas del agua, en presencia del oxígeno del aire, la película crece a medida que se consume la materia orgánica y se exfolia bajo la influencia de las gotas de agua que caen sobre el lecho de piedra, el agua purificada se decanta y una parte de los lodos se recircula como en el caso de los lodos activados.

C) Lagunas de lodos.- Cuando lo permite la topografía del terreno y el precio, se envía el agua de desecho, tratada previamente o no, a un estanque poco profundo donde la materia orgánica y las sustancias nutrientes son consumidas por las algas, gracias al proceso de fotosíntesis, este proceso produce poca cantidad de lodo puesto que la carga es débil y la superficie es tan grande que la recolección de los lodos puede realizarse cada cinco años.

B) Tratamiento anaeróbico del Agua.- En el caso de las aguas urbanas de desecho se utiliza la fosa imhoff o fosa de doble etapa, que se caracteriza por el consumo de la materia orgánica por parte de los microorganismos presentes en el agua, y en ausencia del aire, se produce una fermentación metánica en una primera fosa y se recogen las aguas así depuradas en una segunda fosa colocada abajo de la primera a fin de que puedan decantar, este tratamiento es cada vez menos usado ya que es difícil de controlar y su mal funcionamiento puede ocasionar graves inconvenientes (olores nauseabundos, riesgos de explosión, formación de una costra en la superficie, ...) además, las cantidades de gas producidas son demasiado reducidas para que se pueda pensar en recuperarias, se recogen los lodos por trasiego y desnatado.

II.2.3 TRATAMIENTOS FISICO-QUIMICOS.

A) La floculación.- Las aguas domésticas de desecho contienen materias en suspensión de muy pequeñas dimensiones y materias coloidales para las que la decantación y la filtración presentan problemas técnicos difíciles de resolver, ciertos productos minerales u orgánicos tienen la propiedad de aglomerar estas finas partículas en floculos que son más fácilmente decantables. Este procedimiento se utiliza cada vez más en las plantas cuya

carga varía en el transcurso del tiempo, para hacerle frente a los periodos pico.

Las sales de hierro o de aluminio y la cal se utilizan por lo común con las aguas urbanas de desecho que tengan concentraciones del orden de un decigramo por litro, mientras que los pouelectrolitos naturales o de síntesis dan buenos resultados para contenidos del orden de un miligramo por litro, el costo elevado de estos últimos lleva generalmente a la utilización simultánea de los agentes de fluculación orgánicos y minerales.

B) La flotación y la electroflotación.- Estos procedimientos consisten en hacer subir a la superficie del agua las materias en suspensión por medio de burbujas de gas, en el caso de la flotación se utiliza aire comprimido con un flujo menos turbulento para los lodos activados; en el caso de la electroflotación se utiliza el hidrógeno que se desprende del cátodo, o el oxígeno del ánodo.

Para facilitar las operaciones se añaden pequeñas cantidades de productos coagulantes (sales metálicas) o tensoactivos, (ya que están presentes en las aguas urbanas de desecho).

La electroflotación es un procedimiento costoso (por el consumo de energía), pero existe una desestabilización de los coloides

a niveles del ánodo. Si el electrolito es un cloruro, habrá un desprendimiento de ion hipoclorito en el ánodo, lo que permite la esterilización, se recomienda por lo general la adición de agua de mar a las aguas de desecho.

Los iodos se acumulan en la superficie y se eliminan por desnatado como en la separación de las grasas.

II.2.4 UNIDAD EXPERIMENTAL DE TRATAMIENTO AVANZADO EN AGUA RESIDUAL "CERRO DE LA ESTRELLA".

Desde el año de 1955 se lleva a cabo una labor de tratamiento y reuso que aprovecha las aguas residuales en el área metropolitana, con una purificación parcial previa, en aplicaciones tales como el riego de áreas verdes y el llenado de lagos y canales recreativos, los cuales no requieren de calidad potable. En la década de los ochenta se determinó ampliar las posibilidades de reutilización del agua en el sector industrial que implica una demanda constante a lo largo del año.

El desarrollo de las tecnologías de tratamiento debe estar encaminado a diversificar el uso del agua residual tratada de elevado nivel de calidad, con el fin de aplicarlo a la recarga del acuífero, y frenar el hundimiento del Valle de México a largo plazo.

En 1983 se creó una unidad experimental de tratamiento avanzado de aguas residuales en el Cerro de la Estrella, con la que es factible - identificar la secuencia de los procesos adecuados para un tipo de agua en particular, en función del uso a que se le quiera destinar, ésto se debe a que la calidad física, química y biológica de las aguas residuales en el Valle de México presentan notables variaciones en espacio y tiempo, principalmente, por la influencia que representan las descargas de aguas residuales de origen industrial, la planta tiene como objeto producir agua con calidad física, química y biológica (FQB), similar a la potable, para ser inyectada al acuífero y determinar si la tecnología disponible en México permite producir tanto el equipo necesario para efectuar los procesos unitarios, como el instrumental para el control hidráulico y analítico del proceso.

PROCESO DE TRATAMIENTO.

La selección de los procesos para tratamiento avanzado se realizó a partir de los resultados de un programa de monitoreo efectuado en 15 sitios del sistema de drenaje y determinando un total de 152 parámetros, entre ellos, metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos, con esta información se definieron los grupos de contaminantes que no se remueven con un proceso de

lodos activados, que es el nivel al que operan las instalaciones - del sistema de tratamiento y reuso y que, en consecuencia, deben eliminarse para alcanzar una calidad óptima.

El diseño de la unidad experimental de tratamiento avanzado incluye nueve etapas y procesos unitarios que mediante su interconexión, permiten simular diferentes secuencias: remoción de detergentes, precipitación química, desorción, recarbonización, filtración en medio dual, adsorción en carbón activado, ozonación, ósmosis inversa y desinfección, esta secuencia de tratamiento fué seleccionada para remover los contaminantes característicos en el efluente de la planta de tratamiento: nutrientes, detergentes, metales pesados, bacterias, virus y compuestos orgánicos sintéticos, entre otros.

BIOENSAYOS.

La necesidad de evaluar los riesgos a la salud por el uso de aguas renovadas a diferentes niveles de calidad, determinó la creación de un área experimental en la que se utilizan organismos vivos cuya respuesta al contacto con el agua residual tratada constituye una valiosa información, en las primeras etapas de este programa se usaron truchas acortadas que son consideradas como organismos sensibles a las alteraciones de la calidad

física, química y biológica del agua obteniéndose resultados indicativos para las pruebas de toxicidad aguda y crónica, según los últimos informes las investigaciones continúan para obtener un panorama más amplio.

Con los resultados obtenidos de esta planta experimental se ha diseñado la planta San Luis Tlaxiatemalco de tratamiento terciario, con la que se obtendrá agua con calidad físico-química similar a la potable que se utilizará para recarga artificial del acuífero y para los proyectos de rehabilitación y ampliación de las plantas Cerro de la Estrella, San Juan de Aragón, Chapultepec, Acueducto de Guadalupe y Ciudad Deportiva.

PROCESO	PROPOSITO	DESCRIPCION	VARIABLES DE OPERACION	EFICIENCIAS DE REMOCION ALCANZADAS
Despuración	Remoción de detergentes	Cámara vertical con inyección de aire comprimido	Relación: gasto de aire gasto de agua tiempo de retención: tirante de agua	85% de SAAM
Tratamiento químico	Precipitación de fosfatos y metales pesados	Proceso de clarifloculación con sedimentación de alta tasa	Gradientes de velocidad, secuencia y dosificación de reactivos, tiempos de retención	90% de fosfatos
Desorción	Remoción de nitrógeno amoniacal	Dos columnas enparadas con medios sintéticos nodulares y sistema de extracción de aire.	Relación de gasto de NRE-gasto de agua, altura del empaque (operación en serie y paralela); tipo de empaque.	95% de nitrógeno amoniacal
Filtración	Remoción de sólidos suspendidos y remanentes de materia orgánica	4 columnas empaçadas con arena, antracita y grava; operan con - tasa constante o declinante.	Carga hidráulica superficial, pérdidas de carga, duración de la carrera, tiempo y caudal de retrolavado	95% de sólidos suspendidos
Ozonación	Oxidación de materia orgánica, desinfección e inactivación de virus.	Generador de ozono y dos columnas de contacto	Dosis de ozono y tiempo de contacto	95% de materia orgánica
Adsorción	Remoción de color y materia orgánica sintética.	2 columnas a presión con lecho de carbón activado mineral.	Operación serie-paralelo, altura de lechos, tiempo de retención.	90% color 90% DQO

Osmosis inversa	Remoción de sólidos disueltos, virus, compuestos orgánicos, sintéticos, etc.	4 módulos de membranas de acetato de celulosa, bomba de alta presión, retratamiento.	Por ciento de rechazo y recirculación, caudal de operación 200ml/seg.	99% sólidos disueltos
Desinfección	Garantizar cloro residual en el efluente, remoción de patógenos.	2 cámaras de contacto, sistema de inyección en línea.	Dosis de hipoclorito de sodio, tiempo de contacto.	99.99% de cloriformes totales.

TABLA No. 6 PROCESOS DE TRATAMIENTO.

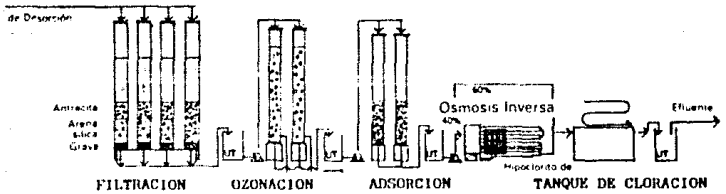


FIG.: 7

DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL.

CAPITULO III

BENEFICIOS.

III.1 BENEFICIOS DE REDUCIR LA EXPLOTACION DE MANTOS ACUIFEROS DEL VALLE DE MEXICO.

En la década de 1990 el Valle de México es una megalópolis, la historia de su desarrollo es corta, pudiendo marcar su inicio en la década de los sesenta que habitada por seis millones de personas pasó a quince millones en 1990. Alejada de los ríos, perdido su sistema lacustre original a lo largo de tres siglos y enfrentando distancias cada vez más lejanas de las fuentes de abastecimiento que la surten de agua, podemos considerar el abastecimiento del área como uno de los más complejos y de mayores desafíos, como se vió en el Capítulo I de este trabajo gran parte de la extracción del vital líquido se obtiene de manantiales y sistemas de pozos ubicados dentro del contexto de la zona urbana.

La extracción indiscriminada del líquido para el consumo de la población ha ocasionado mutaciones en el medio físico que se pueden considerar como irreversibles, uno de los trastornos más significativos es el asentamiento del subsuelo, que desde principios del siglo hasta 1936, se mantuvieron en el orden

de cinco centímetros por año, al aumentar la demanda de agua, se inició la perforación de pozos profundos, y entre 1938 y 1948, el hundimiento en el centro del Distrito Federal se incrementó a 18 centímetros por año, para llegar después a 30 y 50 centímetros anuales. Como consecuencia, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, con un gran incremento en costos de operación y mantenimiento, en 1960 se construyeron el interceptor y el emisor del poniente, con objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca, descargándolas a través del tajo de Nochistongo. No obstante, el desmesurado crecimiento de la ciudad volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran Canal y el emisor del poniente en 1970, lo que ocasionó grandes inundaciones en toda la zona del Gran Canal, para ese entonces el hundimiento ya había sido tal que el nivel del Vaso de Texcoco, que en 1910 se hallaba 1.90 metros por debajo del centro de la ciudad, se encontraba 5.5 metros arriba, todo ésto originó la construcción del drenaje profundo de la ciudad de México.

La problemática para satisfacer el requerimiento de agua potable se sigue complicando debido al crecimiento de la ciudad, la dependencia de fuentes de suministro cada vez más lejanas y el agotamiento paulatino del acuífero de la ciudad que es la

principal fuente de abastecimiento. Esta sobreexplotación conduce a consecuencias tales como el hundimiento del subsuelo y el deterioro de la calidad física, química y biológica del agua en algunas zonas de la ciudad, como consecuencia de todo lo anteriormente expuesto el Gobierno de México ha puesto en marcha un plan de emergencia en donde a la fecha se abastece al 80% de la población con los acuíferos de los Valles de México y Lerma, así se ha reducido de una forma considerable la explotación de los pozos ubicados en el área metropolitana y con el desarrollo de las unidades experimentales de tratamiento de aguas residuales regresar al subsuelo y lagunas una parte considerable del flujo lo cual ayudaría a regenerar el medio físico que durante tantos años ha sido el principal afectado de la desmesurada extracción del agua.

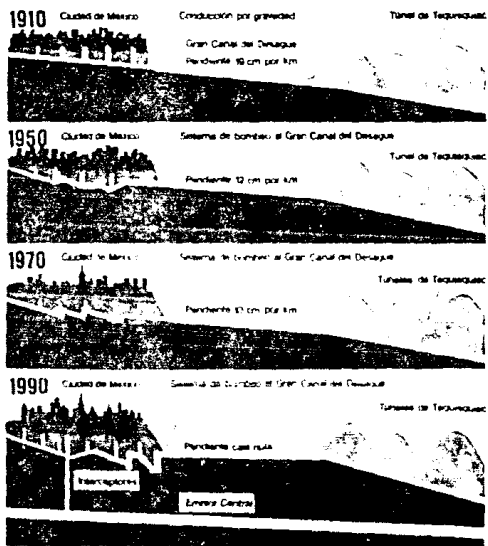


FIG. 1: B

EFFECTO DEL ASENTAMIENTO DEL SUBSUELO EN EL SISTEMA DE DRENAJE

III.2 BENEFICIOS ECONOMICOS Y ECOLOGICOS CON EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA TRATADA.

III.2.1 ASPECTOS ECONOMICOS.

Las plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales son elementos clave en los sistemas de abastecimiento de aguas y en los de evacuación de aguas residuales, los sistemas a su vez, se unen para ejercer profundos efectos sobre la administración de los recursos hidráulicos regionales y finalmente nacionales, una planta de purificación de agua o de tratamiento de aguas residuales influye en la administración de la calidad de todo el sistema hidráulico en la que se ubica la planta, este impacto se debe tomar en cuenta en el proceso de planeación en todos los niveles: hidrológico, económico, higiénico, legal y político.

Dentro del contexto de las plantas tratadoras que se vayan a diseñar, se deben determinar en relación óptima, la posición, la naturaleza y el tamaño de las plantas de tratamiento necesarias respecto a: 1) la fuente y calidad del agua que se va a tratar; 2) el origen y composición de las aguas residuales producidas; 3) la naturaleza de las aguas receptoras en las que se vayan a dispersar las aguas residuales; 4) la configuración y topografía de la comunidad y sus zonas circundantes; 5) la población anticipada, el crecimiento industrial y la expansión del área; y 6)

las amalgamas físicas tanto posibles como probables, además de la creación de autoridades regionales y metropolitanas.

En la siguiente tabla se han tabulado costos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos.

A - Costo per cápita de construcción en dólares.

UNIDADES DE TRATAMIENTO	COSTO BASICO PER CAPITA	FACTOR DE POBLACION*
1. A) tanques inhoff	20	$10^2 p^{\frac{1}{2}}$
B) A) y filtros goteadores	26	$10^2 p^{\frac{1}{2}}$
2. A) Sedimentación mecánica y tanques digestores calentados	35	$10^4 / 3p^2 / 3$
B) A) y filtros goteadores	45	$10^8 / 7p^5 / 7$
C) A) y unidades de lodos activados	47	$10p^3 / 4$
3. Lagunas de estabilización	0.90	$10p^3 / 4$

B - Costo per cápita de operación en dólares.

PLANTA DE TRATAMIENTO	10^2	10^3	10^4	10^3	10^6
1. Primario	. . .	2.7	1.4	0.91	0.57
2. Filtros goteadores					
baja velocidad	. . .	3.5	1.3	0.75	. . .
alta velocidad	. . .	4.6	1.4	0.73	. . .
3. Lodos activados	9.2	3.5	1.9	1.2	0.88

* Para una población dada P, multiplíquese el costo per cápita básico por este factor.

En el cuadro anterior se puede observar el costo de los sistemas - más usuales de tratamiento en los Estados Unidos, para este trabajo daremos una rápida descripción de una planta potabilizadora ubicada en el Valle de México.

III.2.2 UNIDAD EXPERIMENTAL DE POTABILIZACION AVANZADA "SANTA MARIA AZTANUACAN.

La sobreexplotación de los acuíferos en el Valle de México ha provocado que las arcillas lacustres al extraer su agua, permitan la incorporación de sustancias no deseables que alteran su calidad, ésto representa en algunos casos, un alto riesgo de entrada de aguas de mala calidad al acuífero, el crecimiento acelerado de la ciudad incide también en este problema, principalmente porque el servicio de alcantarillado no cubre a toda la población, lo que obliga al uso de letrinas o a que las aguas negras se viertan sobre terrenos o sean infiltradas a través de grietas y otras depresiones del terreno con el consiguiente riesgo de contaminar las aguas subterráneas, asimismo los servicios que se ofrecen a la comunidad como es la recolección, transporte y disposición final de desechos sólidos se ha planteado la necesidad de depositarlos en tiraderos a cielo abierto cuyos lixiviados, en algunos casos, presentan un riesgo de contaminación al acuífero. El problema de la contaminación se acentúa en el acuífero de la zona suroriente de la ciudad en donde existen asentamientos

carentes de los servicios de alcantarillado y tiraderos a cielo abierto que aunque ya han sido clausurados permanecen como focos potenciales de contaminación.

La cercanía con el Vaso de Texcoco y la sobreexplotación desigual de las aguas dentro y fuera del D. F., han permitido que el flujo del agua subterránea proveniente del Vaso de Texcoco se vayan introduciendo paulatinamente y alteren la calidad del agua de los mantos existentes, para enfrentar este hecho se tienen en operación, desde hace algunos años, tres plantas potabilizadoras cuyos procesos de tratamiento en dos de ellas utilizan, entre otros, la oxidación de la materia orgánica mediante el uso de ozono. Con el tiempo, al variar aún más la calidad de las aguas, se diseñó en 1983 una planta experimental, basada en nueve diferentes procesos de potabilización, con una capacidad de un litro por segundo y cuya facilidad en la operación permitiera evaluar diferentes alternativas de potabilización, con el fin de adecuar los procesos de las potabilizadoras existentes, prolongar su vida útil y asegurar que el producto final tuviera características adecuadas para ser considerada como agua potable.

DESCRIPCION DE LA PLANTA EXPERIMENTAL.

La característica principal de esta planta es la flexibilidad

en su operación, de esta manera, los procesos y operaciones unitarias que la componen pueden interconectarse de diversas formas para obtener numerosas combinaciones, por otra parte, cada unidad se opera de manera independiente y permite la variación, en una amplia gama de valores, para sus condiciones de experimentación.

Los procesos unitarios son: tratamiento químico, desgasificación, recarbonatación, filtración, ozonación, adsorción, intercambio iónico, ósmosis inversa y desinfección.

CONTROL DE PROCESO.

Para controlar la operación de las unidades que conforman un tren de tratamiento, la planta experimental cuenta con un laboratorio en el que permiten ajustar, en sitio, las condiciones experimentales de cada etapa de tratamiento.

CONTROL DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE.

El control de la calidad física, química y biológica del efluente obtenido en cada secuencia de tratamiento se realiza en el laboratorio de control de calidad donde se determinan más de 240 parámetros, principalmente en los más convencionales, metales pesados,

orgánicos sintéticos, bacteriología, parasitología y virología.

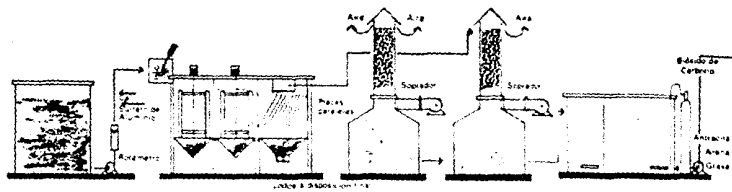
MECANICA DE OPERACION.

Desde el inicio del proyecto, se visualizó la posibilidad de que una vez realizados los trabajos experimentales con el pozo localizado en el mismo sitio de la planta, ésta se transportará a los diferentes sitios por donde se deberían medir los problemas particulares, con el fin de obtener alguna solución; sin embargo, se ha optado porque se transporte el agua problema en carros tanque, desde el sitio de generación hasta la planta experimental, para que las respuestas de evaluación sean rápidas y con mayor precisión esto ha permitido reducir los costos de experimentación y mejorar la funcionalidad de los dispositivos.

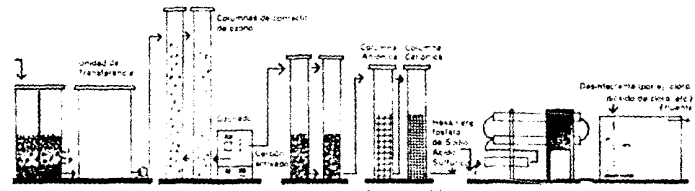
PROCESO	PROPOSITO	DESCRIPCION	VARIABLES DE OPERACION	EFICIENCIA DE REMOCION ALCANZADAS
Regulación	Regular y proveer el agua a tratar en cualquier proceso - para su operación - durante 1 hora	Tanque de 3.8m ³ de capacidad. Bomba de transferencia de 1 HP, medidor de gasto	Caudal de agua a tratar (LIMH)	
Tratamiento Químico	Como clarificador: reducción de color y turbidez como ablenador: reducción de Ca y Mg	Tanque de mezcla rápida, 2 floculadores, 2 sedimentadores y cárcamo de bombeo	Velocidad de mezcla rápida, gradiente de velocidad de floculación, tiempo de retención en floculador y sedimentador	Turbidez: 24.4% Color: 27% O.T.: 28.49% FC soluble: 62.25% Ma soluble: 30.35%
Nitrificación-Desgasificación	Remoción de nitrógeno amoniacal, ácido sulfhídrico compuestos orgánicos volátiles	2 columnas de fibra de vidrio empacadas con teleretes, conectadas al ducto de un ventilador y al cárcamo	Relación aire, agua, carga hidráulica superficial.	N-NH ₄ : 90% H ₂ : 100%
Recarbonatación	Estabilización de las aguas al controlar el PH de las aguas para que no resulten agresivas.	Tanque de contacto de mezcla de dióxido de carbono y agua dosificador de CO ₂ cárcamo de bombeo.	Dosificación de CO ₂ , tiempo de contacto.	De pH:8.0 a PH,7.5 Unidades
Filtración	Remoción de sólidos suspendidos	Columna empacada con arena/antracita grava, cárcamo de bombeo	Carga hidráulica superficial	Turbidez: 86%
Ozonación	Remoción de materia orgánica por oxidación con ozono	Generador de ozono, cámara de contacto de la mezcla ozono-agua, cárcamo de bombeo	Flujo por unidad de área, altura de empaque	Color: 100% DBO: 70% DQO: 70%
Adsorción por carbón activado	Remoción de materia orgánica oxidada y en su caso de materia orgánica, productos de sabor, olor y color.	2 columnas empacadas con carbón activado con tapas superiores, cárcamo de bombeo	Flujo por unidad de área, altura de empaque	Color: 100% DBO: 70% DQO: 70%

Intercambio iónico	Remoción de sólidos disueltos (sales)	Columna empacada con resina catiónica, columna con resina aniónica, cárcamo de bombeo y fosa de neutralización.	Gasto de agua tratada	SDT: Conductiv: descent - nuado por alto CDA: costes en regeneración DM ₂
Desinfección	Eliminación de bacterias, desactivación de virus y mantener un residual de cloro	Tanque de contacto - agua-cloro, gas, dosificador de cloro, cárcamo de bombeo.	Dosis de cloro, tiempo de retención	Cuenta standard: 90% coliformes fecales: 90% coliformes totales: 90%
Osmosis inversa	Eliminación de sólidos disueltos (sales)	Bomba de alta presión, 4 elementos hidráulicos conteniendo membranas semipermeables, bombas dosificadoras de H ₂ SO ₄ y hexametá de sodio	Gasto de agua a tratar por ciento de agua a recuperar	Conductiv: 77.3% DT: 96.25% SDT: 77.3% CDA: 93.1% DM ₂ : 97.3%

TABLA No. 8 PROCESOS DE LA PLANTA.



Regulación Tratamiento Químico Desgasificación Nitrificación Recarbonación



Filtración Ozonación Adsorción Intercambio Iónico Osmosis Inversa Desinfección

REGULACION TRATAMIENTO DESGASIFICACION RECARBONACION FILTRACION OZONACION ADSORCION INTERCAMBIO OSMOSIS DESINFECCION
 QUIMICO NITRIFICACION

FIG 9 DIAGRAMA DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL DE POTABILIZACION

ZONA	PLANTA	CAPACIDAD EN M ³ /SEG	P R O C E S O					
			CLORACION	RECLORACION	CLARIFICACION	OZONACION	AIREACION FORZADA	ABLANDA CION
LERMA	ALMOLOYA DEL RIO	5.2	X					
	STA. MA. ATARASQUILLO	9.3	X					
	EL VENADO	22.0			X			
	EL CONEJO	5.2			X			
PONIENTE	*EL CARTERO	3.0			X			
	*CAMPAMENTO PALMAS	22.0			X			
	MAGDALENA	0.2	X			X		
NORTE	SAN JUANICO	5.2	X					
	TLAXIALTEMALCO	5.2	X					
	LA NORIA	4.5	X					
SUR	CERRO DE LA ESTRELLA	8.6			X			
	XOTEPINGO	6.7			X			
	ING. FRANCISCO DE GARAY	0.5	X			X	X	
	MANANTIALES	1.0	X					
CENTRO	POZOS MUNICIPALES	15.0	X					
ORIENTE	EL PEÑON	2.0	X					
	ING. MANUEL MARROQUIN	0.0	X			X		
	ING. ROBERTO VEGA GAYOL	0.1	X				X	

PLANTAS POTABILIZADORAS

Como se puede observar son pocas las plantas que tratan, ya sea el agua que consume la población o el agua residual.

Como se ha visto durante el desarrollo de este trabajo los beneficios económicos son quizá a muy largo plazo y es esta la razón de que en años anteriores no se le había dado la importancia necesaria a la problemática de escases del vital líquido, ahora que han surgido nuevos problemas como, la contaminación del agua y altos índices de toxicidad es cuando se han venido desarrollando diversos sistemas de tratamiento de los flujos acuíferos y trabajos experimentales han reportado positivos resultados en cuanto al factor económico se refiere, en el desarrollo de este capítulo se hizo mención de la mayoría de las causas que contribuyen a mejorar el sistema ecológico de la región por lo que es altamente recomendable la implantación de sistemas de tratamiento de aguas en el Valle de México.

CAPITULO IV SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA CASAS HABITACION.

IV.1 DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA CASAS HABITACION.

IV.1.1 CRITERIO DE ELECCION DEL METODO.

El criterio a aplicar en este trabajo es hacer una revisión rápida de todos los métodos descritos en el desarrollo de la tesis, cuando se han observado las ventajas y desventajas de los métodos se hace una elección de acuerdo a la tecnología que se tenga en el país y que esté al alcance de nuestras manos, de esta forma elegimos uno de los sistemas más avanzados que hay, que es el de tratamiento biológico, éste se encuentra precedido por tanques de sedimentación primaria. El componente biológico o secundario se encuentra a continuación integrado por la propia unidad biológica, por lo general con su correspondiente tanque secundario de sedimentación.

IV.1.2 DESCRIPCION DEL METODO

PROCESO DE Lodos Activados.

Este proceso es capaz de convertir la mayoría de los desperdicios

orgánicos a formas orgánicas más estables o a masa celular en este desarrollo mucha de la materia orgánica soluble y coloidal contenida después de la sedimentación primaria es metabolizada por un diverso grupo de microorganismos a dióxido de carbono y agua. Al mismo tiempo, una fracción es convertida a masa celular que puede ser separada del flujo residual mediante sedimentación por gravedad.

Los lodos atizados con un cultivo heterogéneo de microbios compuesto en su mayoría de bacterias, éstas son responsables de asimilar la mayoría de la materia orgánica.

El uso de sustrato (materia orgánica) mediante una celda bacteriana puede ser descrito en un proceso de tres pasos: (1) el sustrato de molécula contacta la pared de la celda, (2) el sustrato de la molécula es transportado dentro de la celda, y (3) la metabolización del sustrato de la molécula de la celda se realiza.

Para producir una alta calidad de flujo, la biomasa (después de remover la materia orgánica del agua residual) debe ser separada de la corriente líquida. Esto se lleva a cabo en un clarificador secundario y es efectivo sólo si las especies de bacterias presentan una rápida aglomeración, la clarificación secundaria es siempre cercana a los límites de calidad.

Luego de la separación de la fase líquida de la sólida, la biomasa incrementada en la síntesis durante el uso de sustrato es eliminada y el resto regresa al tanque de aereación. De ese modo, una masa relativamente constante de microorganismos se mantiene en el sistema, el desarrollo del proceso depende de la reciclación de suficiente biomasa. Si la separación y concentración de biomasa falla, el proceso entero falla.

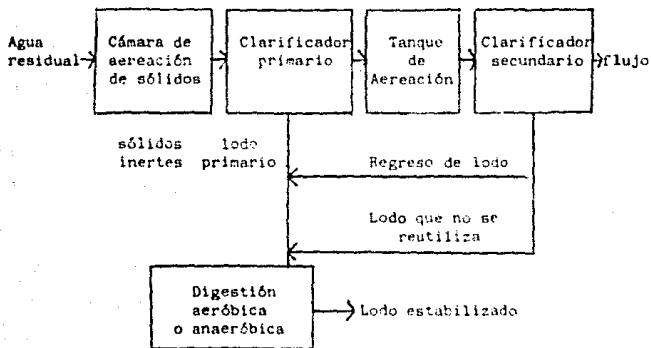


FIGURA No. 10

Esquema del flujo para una planta de lodos activados.

En general en este proceso intervienen los siguientes aspectos: (1) aereación de agua residual en presencia de una suspensión microbial, (2) separación de sólidos-líquidos seguida de aereación, (3) descarga a un flujo clarificador, y (4) desalajo del exceso

de biomasa y regresar la biomasa restante al tanque de aereación.

REGIMEN MIXTO.

Uno de los requerimientos fundamentales en el diseño del proceso de lodos activados es conocer que tipo de reactor (tanque de aereación) será el mejor para el problema dado. En general los mejores tipos de regímenes de mezcla son dos: el primero es el de flujo obturado, se caracteriza por drenar el flujo del líquido mezclado a través del tanque de aereación sin mezclarse con ningún otro elemento. El segundo tipo de régimen es el de mezcla completa, en este caso el contenido del tanque de aereación es desalojado uniformemente; así, en estado estático, el flujo del tanque de aereación tiene la misma composición que los contenidos del tanque de aereación. Se reconoce que con cualquiera de los dos regímenes la operación ocurrirá con satisfacción, siempre y cuando el sistema sea propiamente diseñado.

El tipo de régimen de mezcla es muy importante, sus efectos son: (1) requerimientos de transferencia de oxígeno en el tanque de aereación, (2) la susceptibilidad de la biomasa a las descargas, (3) las condiciones locales ambientales (como la temperatura) dentro del tanque de aereación, y (4) las condiciones cinéticas predominantes.

IV.1.3 DESARROLLO DEL MODELO CINETICO.

Con algunas excepciones, los modelos cinéticos que han sido propuestos para describir el proceso de lodos activados han sido desarrollados en la base de las condiciones del estado constante dentro del tratamiento.

A continuación se muestra un esquema típico de flujo para un sistema de mezcla completa de lodos activados, en donde: Q , representa el rango de agua residual al tanque de aereación; S_0 , es la concentración de sustrato en el agua residual; V_a , es el volumen del tanque de aereación; X , la concentración de biomasa en el tanque de aereación y el flujo que viene del tanque de aereación; S_e , la concentración del sustrato en el estado constante después del tratamiento; Q_r , la cantidad de lodo reciclado; R , la velocidad de reciclamiento de lodo; Q_n , la cantidad de lodo desperdiciado; Y X_r , la concentración de biomasa en el flujo del clarificador secundario.

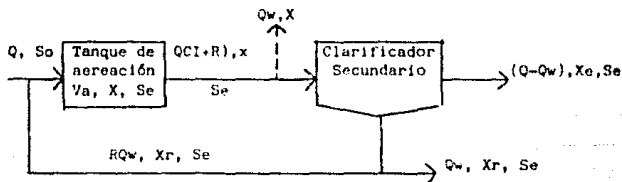


FIGURA No. 11

Esquema típico de flujo para una planta de mezcla completa de lodos activados.

En la figura anterior se muestran dos alternativas para desalojar el lodo, éste puede estar acompañado tanto de línea de regreso como directa al tanque de aereación.

El desarrollo de modelos apropiados para estas ecuaciones se basa en las siguientes consideraciones:

1. La mezcla completa se realiza en el tanque de aereación.
2. La concentración de flujo de sustrato se mantiene constante.
3. Sólidos no microbiales son contenidos en el agua residual al tanque de aereación.
4. En el clarificador secundario no ocurren actividades microbiales.
5. No acumulación de lodos en el clarificador secundario y una eficiencia razonable de separación de líquidos y sólidos se lleva a cabo.
6. Todo el sustrato biodegradable se encuentra en forma soluble.
7. Las condiciones de estado constante prevalecen a lo largo del sistema.

A) Parámetros a considerar

- a) relación F/M (alimento a microorganismos)

$$F/M = \frac{S_0}{\theta \lambda}$$

- b) Tiempo medio de estancia celular, θ_c

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w + Q_e X_e}$$

- c) Tasa de uso específico, U

$$U = \frac{(F/M)E}{100}$$

E= eficiencia del proceso

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta_x}$$

$$Y: \frac{I}{\theta_c} = Y \frac{F}{M} \cdot \frac{E}{M} - k_d = Y_u - k_d$$

Y = relación de masa celular a masa de sustrato consumido

k_d = coeficiente de declinación endógena.

B) Factores determinantes para la selección del reactor.

- a) Cinética

Reactor de flujo de pistón

Reactor completamente mezclado.

- b) Requisito de transferencia de oxígeno

- c) Naturaleza del agua residual.

- d) Condiciones ambientales.

- e) Costos de construcción y operación.

c) Producción y control de lodos

a) Exceso de lodos

$$P_x = Y_{obs} (X_{So} - S) \times 10^{-3}$$

P_x = Lodo en exceso diario

Y_{obs} = Rendimiento observado.

b) Control

b.1) Usando el tiempo medido de estancia celular.

$$\theta_c = \frac{V_x}{Q_w X + Q_e X_e}$$

Q_w = Gasto del exceso de lodos extraído del tanque de aeración.

Si $X_e \rightarrow 0$

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c}$$

Si el exceso se retira de la recirculación y $X_e \rightarrow 0$

$$Q_w = \frac{V_x}{\theta_c X_r}$$

X_r = Concentración de lodos en la recirculación

b.2) Usando la relación F/M.

$$P_x = Q_w X_r \times 10^{-3}$$

D) Requisitos y transferencia de oxígeno.

$$\text{KgO}_2/\text{d} = \frac{Q(S_0 - S)}{f} \times 10^{-3} - 1.42 (P_x)$$

f = Factor de conversión de DBO_5 A DBOL

El suministro de aire debe ser adecuado para

- a- Satisfacer la DBO de las aguas residuales
- b- Satisfacer la respiración endógena de los organismos
- c- Proporcionar una mezcla adecuada
- d- Mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto de 1 a 2 mg/lit en el tanque de aereación.

E) Requisitos de nutrientes.

Para que un sistema biológico funcione adecuadamente se requieren cantidades adecuadas de nutrientes, aproximadamente 12.4% por peso de nitrógeno y una quinta parte de ese valor en fósforo.

F) Requisitos ambientales.

Temperatura

PH (sólo se requiere control en aguas de baja alcalinidad).

G) Separación de sólidos.

A partir de un balance de masas y despreciando el exceso de lodos, se puede establecer

$$Q = \frac{g (h-1) \left(\frac{h}{h-1}\right)^h (R)^{h-1}}{(C_0)^h (1+R)^h}$$

g, h son constantes empíricas.

C_0 = Concentración de SST en el flujo del tanque de aereación.

Valores típicos de g, h

Tipo de sistema	g (FT/MIN)	h	Carga
Convencional	0.43×10^{-8}	2.672	$0.5 \frac{DBO}{SSVM}$
Convencional	2.62×10^{-6}	1.70	$0.24 \frac{DBO}{SSLM}$
Convencional	29.6×10^{-6}	1.63	$0.06 \frac{Kg\ DBO}{Kg\ LODJ}$

H) Calidad del flujo.

Los requisitos de flujos secundarios especifican un promedio de una masa de 30 mg/LT (suma de DBO_5 soluble o insoluble).

En una planta bien operada el contenido de S.S es menor de 20 mg/LT.

Como las ecuaciones cinéticas se aplican sólo a la porción soluble se propone:

$$\text{DBO}_5 \text{ insoluble} = 5(1.42 \text{ Kd } X_s \text{ Ce})$$

K_d = coeficiente de declinación.

X_s = Porción de masa activa en los S.S, variando de 0.8 en Sist. de alto gasto A 0.1 en aereación extendida.

C_e = Concentración de S.S. en mg/LT

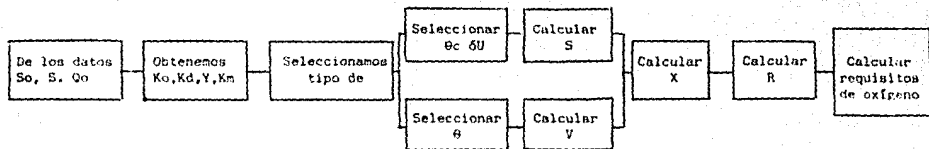


FIG. No.: 12

RESUMEN DE DISEÑO BASADO EN EDAD
DE LODOS

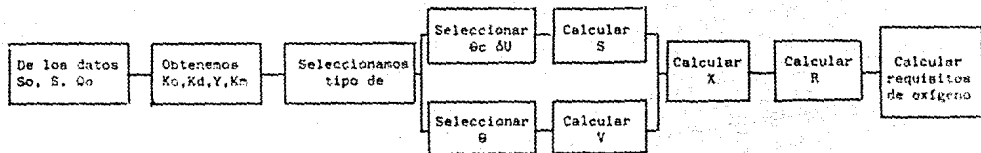


FIG. No.: 12

RESUMEN DE DISEÑO BASADO EN EDAD
DE LODOS

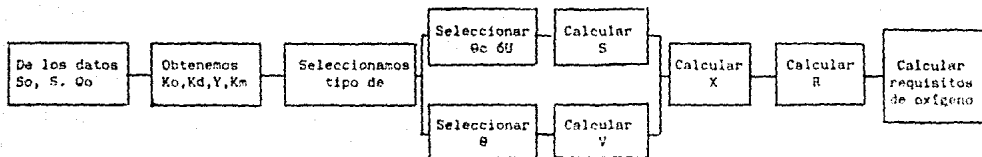


FIG. No.: 12

RESUMEN DE DISEÑO BASADO EN EDAD
DE LODOS

IV. 1.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AERACION.

1.- Métodos usuales

- A) Difusión de aire con aire comprimido
- B) Turbina sumergida
- C) Aereadores superficiales de baja velocidad
- D) Aereadores superficiales de alta velocidad.

Stukenberg sugiere que la aeración por difusión no se use cuando la tasa de utilización del oxígeno excede 50 mg/Lt-Hr. Los aereadores de baja velocidad son aceptables para menos de 80 mg/Lt-Hr y para valores mayores recomienda la aeración por turbina.

2.- Aeración por difusión.

Opera suministrando aire comprimido a través de los difusores:

Hay dos tipos de difusores:

Burbuja fina o burbuja gruesa.

Metcalf y Eddy incluye difusores de burbuja intermedia, los

difusores de burbuja fina tienen transferencia alta de oxígeno, pero se atascan fácilmente aumentando consumos de energía, los de burbuja gruesa tienen menor transferencia pero requieren menor mantenimiento y menos potencia.

El funcionamiento de un tipo particular de sistema de difusión de aire se afecta por el espaciamiento entre difusores, ancho y profundidad del tanque y gasto de aire suministrado.

La tasa de transferencia de O_2 de varios tipos de difusores, se determina por la ecuación:

$$(T,P) \text{ real} = \text{estandar} : \propto \frac{CSA-C}{0.2}$$

Siendo:

CSA = Concentración de saturación de oxígeno a un tercio de la profundidad (mg/LT).

CS = Concentración de saturación del oxígeno en la superficie del líquido, mg/LT.

Pb = Presión del aire en el punto de salida del difusor (pulg de Hg).

EC = % de oxígeno en el aire que sale de la superficie del líquido. Comúnmente se supone que entre 6 y 10% del oxígeno es absorbido y que el aire inicialmente contiene 21%.

$$C_s = \frac{P-p}{760-p}$$

p = Presión barométrica, mm Hg.

P = Presión de vapor saturado a condiciones estándar, mm Hg.

T = Temperatura de las aguas residuales a condiciones estándar (20°C)

S = Sólidos disueltos en las aguas residuales g/LT.

$$P_b = \left[\frac{H}{2.3} + \frac{P}{760} 14.7 \right] 2.036$$

H = El tirante del agua en el punto de salida del aire.

α = Factor de corrección por efecto de agentes superficiales activos (0.80 a 0.85).

La potencia teórica puede calcularse por:

$$Thp = 0.00436 Q_1 P_1 \left(\frac{K}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(K-1)/k-1} \right]$$

k = Relación de calores específicos a presión y volúmenes constantes para compresión adiabática de moléculas diatómicas, k tiene un valor cercano a 1.395.

P 1 = Presión absoluta a la entrada psia

P2 = Presión absoluta a la salida psia

Si se deprecian las pérdidas por fricción

$$P_2 = \frac{5H}{144} + P_1$$

δ = Peso específico del agua, Lb/FT³

H = Tirante del líquido en el punto de salida del aire (FT)

Q₁ = Gasto del aire en la entrada, FT³/MIN

Temperatura	Valores de δ
°C	Lb/FT ³
10.0	64.41
15.5	62.37
21.1	62.30
26.6	62.22

La potencia al freno del compresor, se obtiene de:

$$\text{Bhp} = \frac{\text{Thp}}{e}$$

e = eficiencia del compresor

Un valor típico de potencia es de 1.5 a 2.5 lb de O₂/Hp/Hr

3.- Aereación por turbina.

Es una combinación de un sistema de difusión de burbuja gruesa y un agitador mecánico único o doble.

El factor que influye para el grado de mezclado es la potencia de la turbina, así que no hay limitación en la geometría del tanque.

El diámetro de la turbina al diámetro equivalente del tanque varía de 0.1 a 0.2.

La mejor transferencia del oxígeno ocurre cuando la relación de potencia de turbina al compresor es unitaria.

La transferencia de O₂, para un solo impulsor es del orden

de 1.5 - 2Lb de O_2 /Hp-Hr y para un impulsor dual de 2.5 a 3 Lb.

Estos dispositivos son apropiados donde se espera una gran fluctuación y la tasa de utilización del oxígeno.

4.- Aereadores superficiales.

La transferencia de oxígeno en condiciones de campo viene dado por:

$$N = N_0 \left[\frac{B C_w - C}{9.2} \right] 1.024^{T-20} \alpha$$

N = Kg de O_2 /Kwh transferido

N_0 = Kg de O_2 /Kwh transferido al agua a $20^\circ C$ y oxígeno disuelto
(transferencia estandar)

C_w = Concentración de saturación del oxígeno a la temperatura
y altura particulares mg/LT

C = Concentración de oxígeno en el tanque mg/LT

T = Temperatura C°

α = Factor de corrección de transferencia.

REQUISITOS DE ENERGIA PARA MEZCLADO.

La mezcla es también una consideración importante en el diseño de sistema de aereación tanto para mantener la biomasa en suspensión como para distribuir el oxígeno.

El grado de mezcla para este último es menor que el necesario para una mezcla completa.

Como todos los aereadores son bombas de baja carga, la mezcla puede relacionarse con la capacidad del bombeo.

En turbinas esta capacidad es de 1 a 10 FT³/SEG X HP, mientras que en aereación por difusión y aereadores superficiales de baja velocidad es de 4/7 y 4.5 FT³/SEG X Hp respectivamente, estos valores se pueden utilizar para calcular el tiempo teórico de volcamiento por un volumen dado.

IV.1.5 CONSTANTES CINÉTICAS Y PARAMETROS DE CONTROL.

1.- Constantes cinéticas.

Ko = Tasa específica de crecimiento

Km = Constante de Michaelis - menten o constante de saturación del sustrato

Y = Rendimiento

Kd = Constante de declinación

Rango de valores de las constantes cinéticas (base: DBO₅)

Ko 0.4 - 0.55

Hr⁻¹

Km 50 - 120

Mg/LT

$$Y = 0.5 - 0.67$$

$$\frac{\text{Mg SSLM}}{\text{Mg DE DBO}_5}$$

$$K_d = 2.0 - 3.0 \times 10^{-3}$$

2.- Parámetros de control.

A) Edad de lodos (θ_c)

$$\theta_c = \frac{V_x}{Q_w(X_r - X_e) + Q_o X_e}$$

θ_c - entre 3 y 14 días

Para $\theta_c < 3$ días, la biomasa no es suficientemente densa para sedimentar fácilmente produciendo el fenómeno de "abundamiento del lodo". Para $\theta_c = 14$ días, las partículas de floculo son demasiado pequeñas para sedimentar fácilmente y la fracción de células vivas en biomasa es baja.

La edad de lodos puede controlarse por la cantidad de lodo extraído del proceso (Q_w) o por la relación de recirculación.

Para este procedimiento la ecuación anterior puede escribirse:

$$\theta_c = \frac{\theta}{1 + R - R \frac{K_d}{X}}$$

B) Índice volumétrico de lodos (IVL).

Se usa como una medida empírica de la sedimentación del lodo.

$$IVL = \frac{V}{V_o X}$$

IVL = ML/mg de sólidos secos.

V = Volumen de sólidos sedimentarios después de 30 min (ML).

V_o = Vol. inicial del lodo (LT).

X = SSLM antes de la prueba (gr/LT).

FL - NL puede usarse para el control de la velocidad de recirculación.

$$R = \frac{X(IVL)}{1-X(IVL)}$$

C) Factor de carga (relación F/M).

Es un factor de mezcla completa.

$$F/M = U - \frac{S_o - S}{X\theta}$$

PARAMETROS BIOLÓGICOS DE DISEÑO

PARAMETRO	REGIMEN COMPLETAMENTE MEZCLADO	REGIMEN DE FLUJO DE PISTON
Tiempo hidráulico de	$\theta_h = \frac{\theta}{1+R}$	$\theta_h = \frac{\theta}{1+R}$
Concentración del subtrato en el efluente.	$S = \frac{K_m (1+k_d \theta_c)}{\theta_c (k_o - k_d) - 1}$	
Concentración de la biomasa activa en el reactor	$X = \frac{Y(S_o - S) \theta_c}{1 + k_d \theta_c}$	$\bar{X} = Y$
Tiempo de residencia de purga	$\theta_v = \frac{K_m + S_o}{S_o (k_o - k_d) - k_d K_m}$	$\theta_v = \frac{(k_m + S_o) (1+R - R)}{S_o (k_o - k_d) - k_d K_m}$
Edad de lodos	$\theta_c = \frac{K_m + S}{S(k_o - k_d) - k_d K_m}$	$\theta_c^{-1} = (k_o - k_d) - \frac{K_m Y (1+R)}{\theta X}$
		$1 e^{\frac{(S_o/S) + R}{1+R}}$

TABLA No. 10

IV.1.6 APLICACION A UN FRACCIONAMIENTO DE CASAS HABITACION.

las aguas residuales del fraccionamiento se tratan en una planta de lodos activados, se desea reducir una DBO_5 de 300 mg/LT en flujo a menos de 20 mg/LT de DBO soluble en el flujo. El gasto de diseño se propondrá como una cantidad proporcional a un fraccionamiento de tamaño medio, ya que el objeto de este trabajo es el diseño de los factores que intervienen en la planta de tratamiento y no el proceso para llegar a ese gasto. El gasto de diseño se propone como $100 M^3/día$.

- A) Las constantes se determinan en laboratorio, para aguas negras domésticas, tenemos:

$$K_0 = 0.45 \text{ Hr}^{-1}; K_m = 60 \frac{\text{mg DBO}_5}{\text{LITRO}}$$

$$Y = 0.60 \frac{\text{mg SSLM}}{\text{mg DBO}_5}; K_d = 2.5 \times 10^{-3} \text{ HI}^{-1}$$

- B) Selección del reactor.

Se elige un reactor de mezcla completa con recirculación.

- C) Otros parámetros.

$$\frac{DBO_5}{DBOL} = 0.7 \quad \text{Y} \quad \frac{SSVLM}{SSLM} = 0.9$$

D) Selección de θ_c (control de la edad de lodos).

$$\theta_c = 5 \text{ días.}$$

Se necesitan estudios de laboratorio para verificar este valor.

E) Cálculo de S y V.

$$S = \frac{K_m (1 + k_d + \theta_c)}{\theta_c (K_c - K_d) - 1} = \frac{60 (1 + 2.5 \times 10^{-3} \times 24 \times 5)}{5 \times 24 (0.45 - 2.5 \times 10^3) - 1}$$

$$S = 1.45 \text{ mg } DBO_5 / \text{LT}$$

Ya que este valor es menor al de diseño, se toma como la demanda a la salida en las siguientes operaciones:

$$\text{Como } X = \frac{\theta_c Y (S_o - S)}{\theta (1 + K_d \theta_c)}$$

$$\text{Y además } \theta = \frac{V}{Q}$$

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_o - S)}{X(1 + K_d \theta_c)} \quad ; \quad \text{Si } X = 2,500 \text{ mg/LT}$$

$$V = \frac{5 \times 100 \times 0.6 (300 \times 0.7 - 1.48)}{2500 (1 + 0.06 \times 5)} = \frac{62,556.00}{3,250.00} = 19.248 \text{ m}^3$$

F) Cálculo de θ .

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{19.248}{100} \times 24 = 4.6 \text{ Hr}$$

G) Concentración de recirculación.

Se selecciona $X_r = 8,000 \text{ mg/LT}$.

H) Cálculo de R.

$$R = \frac{1 - \theta/\theta_c}{X_r/x - 1} = \frac{1 - \frac{4.6}{5 \times 24}}{\frac{8000}{2500} - 1}$$

$$R = 0.44$$

I) Cálculo de θ_w .

θ_w es el tiempo de residencia de purga de los microorganismos del reactor.

$$\theta_w = \frac{(K_m + S_0)(1 + R) X_r/xR}{S_0 (K_0 - K_d) - K_d K_m}$$

$$\text{Siendo: } B = \frac{X_r R}{X}$$

Como S_o , K_d y K_{Km} son pequeñas.

$$\begin{aligned}\theta_w &= \frac{(K_m + S_o)(1 + R - X_r/X_R)}{S_o K_o} \\ &= \frac{(60 + 210)(1 + 0.44 - \frac{3000}{2500} \times 0.44)}{210 \times 0.45} \\ &= 0.09 \text{ Hr}\end{aligned}$$

Como $\theta > \theta_w$, no ocurrirá la purga de los microorganismos.

Es importante hacer mención que la purga no puede ocurrir en un reactor de mezcla completa si hay una concentración fija de biomasa en el gasto que entra al reactor.

J) Cálculo del volumen del exceso de lodos.

J,1) Cálculo de Y_{OBS} .

$$Y_{OBS} = \frac{Y}{H K_d \theta_c} = \frac{0.6}{1 + 0.06 \times 5} = 0.46$$

J,2) Cálculo de P_x .

$$P_x = Y_{OBS} Q (S_o - S)(10^{-3})$$

$$P_x = 0.46 \times 100 (210 - 1.48) \frac{1}{10^3}$$

$$= 9.59 \text{ kg/día.}$$

J,3) Masa total basada en SST.

$$Px(SS) = 9.59/0.9 = 10.66 \text{ kg/día.}$$

K) Cálculo del gasto del exceso de lodos.

K.1) Para eliminación del tanque de aireación.

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \frac{19.248}{S} = 3.85 \frac{\text{M}^3}{\text{DÍA}} = 0.045 \text{ LT/seg.}$$

K.2) Para eliminación de la recirculación.

$$Q_w = \frac{VX}{\theta_c X_r} = \frac{19.248 \times 2 \times 500}{5 \times 8 \text{ 000} \times 0.9} = 0.1337 \frac{\text{M}^3}{\text{DÍA}}$$

$$= 0.0015 \text{ LT/seg.}$$

L) Cálculo de los requisitos de oxígeno.

L.1) Masa de DBOL utilizada.

$$= \frac{Q(S_o - S)10^{-3}}{0.7} = \frac{100(210 - 1.48)}{700}$$

$$= 29.79 \text{ kg/día.}$$

L.2) Requisitos de oxígeno.

$$\text{Kg O}_2 \text{ día} = 29.79 - 1.42 (9.59) = 16.17 \text{ kg/día.}$$

M) Revisión de la relación F/M.

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{O_x} = \frac{210}{\frac{4.6}{24} \cdot 2500} = 0.43 \text{ días}$$

Dentro de la recomendación.

N) Potencia aproximada de un aereador superficial.

$$\text{Kg O}_2/\text{Hr} = \frac{29.79}{24} = 1.24 \frac{\text{KgO}_2}{\text{Hr}}$$

Los aereadores comerciales suministran de 1.2 a 2.4 Kg. de
O₂/Hp - Hr.

Para los siguientes datos:

$$T = 20^\circ\text{C}$$

$$B = 1$$

$$C_L = 2 \text{ mg/Lf}$$

$$\alpha = 0.85$$

$$N = N_0 \left[\frac{C_w \text{ ALT} - C_L}{9.17} \right] 1.024^{T-20} \alpha$$

$$C_w \text{ ALT} = 9 \times 0.74 = 6.7 \text{ (Ley de Henry)}$$

$$N = N_0 \left[\frac{6.7 - 2}{9.17} \right] (0.85) = 0.436$$

Si la transferencia estandar N del aereador es $\frac{2 \text{ Kg}}{\text{Hr}} \frac{\text{O}_2}{\text{HP}}$

$$N = 0.436 \times 2 = 0.872 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}} \frac{\text{O}_2}{\text{HP}}$$

Por lo tanto la potencia total de los aereadores será:

$$\frac{1.24}{0.872} = 1.5 \text{ HP}$$

Se puede seleccionar un reactor cuadrado con tres equipos de .5 HP.

De esta forma queda concluido el diseño preliminar de lo que es la planta de tratamiento de aguas residuales para un fraccionamiento en un desarrollo urbano. En el subcapítulo posterior se hablará acerca del tratamiento de los lodos.

IV.2 TRATAMIENTO DE LOS LODOS.

Los lodos se originan a través de toda la secuencia de tratamientos a que es sometido el flujo residual a los que se les aplica un tratamiento previo a su utilización o a su devolución al medio natural, a fin de disminuir su contenido de agua y estabilizarlos biológicamente, ya que son fermentables. En este capítulo se hace un resumen de los tratamientos que pueden hacer de estos lodos materia de utilidad.

Los lodos recolectados en las diversas plantas de tratamiento contienen una gran cantidad de agua (hasta un 99%), lo que supone la manipulación de grandes cantidades de flujo para facilitar la operación de transporte y de esta manera se facilita la circulación a través de las tuberías.

LODO ACTIVADO

Fresco	0.5-1
Espeso	2.5-3
Digerido	2-3

MEZCLA DE LODOS ACTIVADOS Y PRIMARIOS

Fresco	4-5
Espeso	5-10
Digerido	6-8

Los lodos urbanos presentan una inestabilidad biológica que puede llevarlos a una fermentación anaerobia, generadora de gases deletereos de un olor nauseabundo. La flora microbiana que contienen aportan gérmenes de origen fecal que puede ser patógenos. Por consiguiente, se verá la acción de los diversos procedimientos sobre los microorganismos contenidos en los lodos.

IV.2.1 PROCEDIMIENTOS DE DESHIDRATACION.

Estos permiten separar una parte del agua a fin de obtener lodos más espesos y por lo tanto de un volumen menor, se dispone de diversas técnicas mecánicas o físicas que se pueden aplicar a los lodos procedentes de decantadores, pero es preferible

hacerlos preceder de un acondicionamiento químico o térmico a fin de mejorar el rendimiento o de disminuir el tiempo de retención del lodo.

A) Acondicionamiento previo de los lodos.

Los lodos urbanos contienen materias coloidales que impiden la separación de sólidos y líquidos, estos problemas se resuelven desestabilizando los coloides por medio de procedimientos físicos.

A.1) Elutriación (purificación por lavado).

Las materias coloidales se eliminan por lavado, o elutriación de los lodos, usando agua limpia, si fuera necesario, este proceso permite llevar el PH a la neutralidad, además; el oxígeno disuelto en el agua retarda las fermentaciones anaeróbicas que se podrían producir. La elutriación disuelve una parte de las sustancias nitrogenadas, lo cual lleva a una disminución de las cualidades de los lodos, se supone que la elutriación con un agua ligeramente ácida permitiría eliminar una parte de los metales pesados presentes en el lodo.

A.2) Floculación.

La adición de productos que tengan propiedades electroquímicas

favorece la desestabilización de los coloides por coagulación y formación de floculos más fácilmente decantables o filtrables, los productos usados comunmente son sales minerales y polielectrolitos naturales o sintéticos, las sales de los metales bi o trivalentes (hierro o aluminio) bajo la forma de sulfatos, cloruros o clorosulfatos, dan resultados bastante buenos; no son costosos pero hacen más pesados los lodos y no siempre dan buenos resultados en agricultura.

A.3) Tratamientos térmicos.

Congelación.

Se trata de un procedimiento poco utilizado en la actualidad ya que el costo de unidades térmicas de frío es más elevado que el de las calorías, en ciertos casos se puede disponer de gas líquido o de fluidos frigoríficos poco costosos o de recuperación. En la práctica, se inyecta un gas licuado (procedente del butano), y se congela el agua de los lodos bajo la forma de agujas de hielo, las cuales se desplazan al centro de una centrifuga; al elevarse la temperatura, las partículas sólidas y el agua quedan bien separadas.

Tratamientos con calor.

La acción del calor sobre los lodos tiene varios efectos:

- Coagulación de las partículas coloidales.
- Evaporación del agua, tanto más importante cuanto más se eleve la temperatura y mayor sea la superficie de contacto.
- Desinfección de los lodos.

El tratamiento de coagulación se lleva a cabo por inyección de vapor, por intercambio térmico con el vapor de agua o la cocción a presión. La selección del método depende tanto de factores económicos como la instalación de los dispositivos en el espacio disponible.

El calor permite, por una parte, la solubilización de las sales de los metales pesados, lo que resulta interesante para el uso agrícola, y por otra parte, la eliminación de todos los microorganismos, ya no habrá riesgos de infección, putrefacción y de generación de malos olores. Los lodos tratados con el calor se enfrían rápidamente, ya sea por intercambio de calor o por inyección de agua fría.

B) Deshidratación de los lodos.

B1) Lechos de secado.

Se usa en instalaciones de depuración de poca capacidad, pero se le aprovecha también en las instalaciones grandes, por razones de higiene y para no crear malos olores, se utilizan lechos de secado para los lodos muy mineralizados procedentes de una planta de oxidación total o de un dispositivo de digestión de lodos, los lodos se introducen en estanques poco profundos que contienen grava y arena provistos de un sistema de drenaje. La deshidratación se opera en dos maneras: 1) por infiltración del agua a través del medio filtrante y la eliminación por los drenes, y 2) por evaporación. El rendimiento de estos lechos de secado depende de la naturaleza de los lodos y de las condiciones climatológicas del lugar.

A veces se reemplazan los lechos de secado por lagunas; entonces se aprovecha la topografía del terreno para depositar los lodos en una hondonada. En este caso no hay drenaje, la evaporación es elevada y no se evacúan los lodos, se desarrolla una vegetación natural cuando no se añaden más lodos.

B.2) Decantación de los lodos.

Los lodos contienen una cantidad considerable de agua que puede ser decantada, es decir, dejando reposar el líquido o produciendo una débil agitación en la masa, o bien haciendo circular los lodos líquidos por haces de tubos o placas inclinadas que favore-

cen la separación del agua. El rendimiento de la decantación depende del material utilizado, así como del origen de los lodos.

B.3) Centrifugación de los lodos.

El principio es el mismo que el de la decantación, pero aumenta la velocidad de caída de las partículas sólidas al aumentar la aceleración por un movimiento de rotación. Los lodos se introducen en un aparato de eje horizontal o vertical; la proporción deshidratada o torta se recoge por rastrillaje de las paredes, mientras que el agua se elimina por la parte central.

B.4) Filtración de los lodos.

La filtración tiene por objeto retener las partículas sólidas sobre un material poroso que el agua atraviesa, el material filtrante puede estar formado por arena o por una tela, algunos tipos de filtro son:

- filtración simple (poco usada en lodos)
- Filtración bajo presión en bolsas de tela o en rollos de tela
- Filtración al vacío; generalmente a través de las mallas de un tambor.

Con estos procesos se obtienen masas de lodo que contienen entre 20 y 35% de materia seca.

B.5) Flotación de los lodos.

Este procedimiento no se utiliza para concentrar la materia sólida de los lodos, consiste en introducir aire comprimido en los lodos líquidos, ya sea por inyección de burbujas de aire o bien por adición de agua sobresaturada con aire disuelto, las burbujas rodean a las partículas sólidas y permiten que se reúnan en la superficie en forma de una costra que se elimina por desnatado.

B.6) Deshidratación por calor.

En el párrafo anterior se vió la acción coagulante del calor, pero también se puede utilizar el calor seco para facilitar la evaporación del agua intersticial de los lodos e incluso del agua que los forma.

Los lodos líquidos se introducen en un intercambiador térmico de eje horizontal o vertical; el vapor se elimina por la parte superior, mientras que los lodos secos caen a la parte inferior. Hay otros procedimientos, como los lechos fluidizados, los hornos de pirólisis o los hornos de incineración, que destruyen

la materia orgánica y sólo dejan las sustancias minerales (el fósforo y los metales pueden tener un efecto benéfico si se aprovechan las cenizas para la agricultura).

IV.2.2 ESTABILIZACION DE LOS LODOS.

A) Estabilización biológica.

La composición de los lodos y la presencia de microorganismos diversos favorecen las transformaciones bioquímicas, en el seno de las cuales se efectúan procesos muy variables según la proporción de materia orgánica, la naturaleza de la flora y la fauna, así como de las condiciones exteriores, la estabilización de los lodos consiste en una aceleración de dichos procesos que favorece las transformaciones bioquímicas de una parte de los microorganismos a expensas de los otros.

A.1) Digestión aerobia.

A veces se mezclan los lodos primarios con un exceso de lodos activados; estas mezclas tienden a la fermentación, y para evitar estas molestias se aerea la mezcla con aire o con oxígeno puro, se observa una mineralización de la materia orgánica, para formar gas carbónico, agua y nitrato, este proceso se

parece a la oxidación total, pero la carga es muy importante, este procedimiento consume energía eléctrica y no permite la eliminación de algunos parásitos; por el contrario, el costo de inversión no es muy elevado.

A.2) Digestión anaerobia.

Este procedimiento goza en la actualidad de gran publicidad, ya que permite la producción de gas combustible, no obstante, se trata de un antiguo procedimiento que se utiliza en las plantas de depuración grandes, la originalidad de los procesos actualmente puestos en primer plano, se debe atribuir a la materia orgánica degradable, como los desechos digestivos de los animales, la corteza de los árboles, el aserrín o las hojas muertas.

El principio en que se basa este tipo de digestión trata de favorecer el desarrollo de bacterias metaníferas que actúan en anaerobiosis sobre la materia orgánica y la descomponen con la producción de metano.

El PH del lodo aumenta con el proceso de digestión y su control permite seguir la reacción dentro del digestor, este parámetro puede ser importante para ciertos cultivos cuando se proyecta el uso agrícola de los lodos.

B) Estabilización no biológica.

Los tratamientos fisicoquímicos que se vieron en la selección de floculación, tienen a menudo una acción estabilizante sobre los lodos, lo mismo que los tratamientos térmicos (por el calor o el frío) o la filtración a presión. Sin embargo, existen algunos procedimientos clásicos de desinfección de los lodos, los cuales limitan su fermentación.

B.1) Pasteurización de los lodos.

Todos los procesos señalados anteriormente aseguran una completa esterilización de los lodos, pero requieren temperaturas muy elevadas, mientras que la pasteurización consiste en mantenerlos, por inyección de vapor, a una temperatura del orden de 80°C durante media hora aproximadamente, así, son desinfectados pero no esterilizados, esto es suficiente para su uso agrícola, la estabilización no es perfecta y existen riesgos de fermentación.

B.2) Tratamiento con cal.

La cal es un hidróxido de un metal bivalente; tiene propiedades coagulantes para los lodos, pero además permite una desinfección de los mismos a un PH de 11 aproximadamente. La importancia

de dicha estabilización reside en el hecho de que en el momento de la aplicación suministra una cantidad de calcio que puede ser benéfica para el cultivo. El mayor inconveniente de este tratamiento es su costo.

B.3) Tratamiento químico de los lodos.

Este se lleva a cabo por medio de productos químicos que poseen la acción desinfectante o que bloquean los procesos de su fermentación. Por ejemplo, se usa el cloro o el ozono; no obstante, el primero no conviene para la aplicación de los lodos sobre el terreno y el segundo es muy costoso.

B.4) Irradiación de los lodos.

La multiplicación de las centrales nucleares y de las aplicaciones técnicas que hacen uso del átomo conducen a la formación de residuos radiactivos, cuya acción ionizante se aprovecha y propicia especialmente la desinfección de los lodos. El tratamiento se efectúa generalmente con dichos residuos o con los productos puros como el cobalto, en un reactor vertical en el que se introduce el elemento activo siguiendo la dirección del eje.

B.5) Otros procedimientos físicos.

En los laboratorios, es objeto de estudio la acción desinfectante producida por diversos procesos físicos, como son los ultrasonidos, y los rayos ultravioleta.

IV.3 USOS DEL AGUA TRATADA.

La eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales se mide por la reducción de DBO_5 , de los sólidos suspendidos y por la reducción bacteriana.

En las siguientes tablas se incluyen las eficiencias de procesos independientes y la secuencia en una planta completa, tanto de tratamiento primario como secundario y la segunda muestra la reducción de DBO_5 de plantas más desglosado.

EFICIENCIAS EN % DE PROCESOS Y OPRACIONES UNITARIAS
Y SU SECUENCIA EN UNA PLANTA COMPLETA.

PROCESOS, OPERACIONES Y SECUENCIAS	DBO ₅	S.S	Bacteriana	DQO
Cribado fino	5-10	2-20	10-20	5-10
Cloración de aguas negras crudas	15.30	-	90-95	-
Sedimentación	25.40	40-70	25-75	20-35
Precipitación química	50.85	70-90	40-80	40-70
Filtros rocladores precedidos y seguidos por sedimentación	50-95	52-92	90-95	50-80
Lodos activados precedidos y seguidos por sedimentación	55-95	55-95	90-98	50-80
Lagunas de Estabilización	90-95	85-95	95-98	70-80
Cloración de aguas negras tratadas biológicamente	-	-	98.99	-

TABLA No. 11

REDUCCION APROXIMADA DE DBO_5 EN %

TIPO DE TRATAMIENTO	REDUCCION
Tanque séptico	15 - 25
Tanque Imhoff	25 - 40
Sedimentación	25 - 40
Sedimentación Filtro rociado	80 - 95
Sedimentación Lodos activados convencional	85 - 95
Sedimentación Filtros de arena	90 - 95

VARIANTES DE LODOS ACTIVADOS

a) Aeración escalonada	90 - 95
b) Aeración a pasos	90 - 95
c) Alto gasto	60 - 75
d) Contacto Estabilización	85 - 90
e) Reareación del Iodo	80 - 85
f) Aeración Homogenea (Rapid bioc)	90 - 95
g) Aeración extendida	75 - 95
h) Zanjas de oxidación	90 - 95
Lagunas de Estabilización	90 - 95

En esta porción del capítulo IV se darán algunos de los más importantes usos que se pueden dar al agua residual tratada, ya sea a gran escala como es el caso de las plantas experimentales a las que se hizo mención en los Capítulos II y III o bien a pequeños sistemas de tratamiento de flujos residuales que pueden ser operados en conjuntos habitacionales, desarrollos turísticos, deportivos y en cualquier sitio donde se consuma agua.

El uso más conveniente que se le puede dar al agua residual tratada ya que, de esta manera favorece el sistema ecológico, es la recarga artificial de acuíferos mediante la infiltración y a través de lagunas y de pozos de inyección, procesos en los cuales el agua debe alcanzar niveles similares a los del agua presente en los acuíferos, ésta se determina mediante el uso de laboratorios con la instrumentación adecuada para determinar la aceptación del agua, con este proceso se lleva a cabo a mediano plazo el reciclaje de agua residual con fines de consumo humano. y se restablece el orden ecológico que se fué deteriorando al paso de los años con la desecación de estas fuentes de abastecimiento del líquido.

Al referirnos a las plantas potabilizadoras el uso que se dá a esta agua es principalmente de consumo humano, ya que como quedó establecido en el Capítulo III el agua tratada cuenta

con las condiciones físicas, químicas y ecológicas óptimas para su consumo. En el caso de las plantas de tratamiento de agua residual su producto es destinado a la rehidratación del subsuelo en el área metropolitana y a abastecer zonas de riego para el cultivo de legumbres.

En el caso de plantas colocadas en sitios para desarrollos urbanos, el agua tratada puede ser incorporada al subsuelo por medio de riego de jardines y de esta forma aliviar un poco la crítica situación del asentamiento del subsuelo que fue descrito en este trabajo y posteriormente este flujo podría ser nuevamente extraído para usos industriales o riego de hortalizas dependiendo de los resultados de los estudios de laboratorio que determinen la factibilidad del uso de esta agua. Otra posibilidad es incorporar directamente esta agua tratada a los colectores y aprovechar los lodos que se obtienen en la planta tratadora.

CONCLUSIONES

El contenido esencial de esta tesis muestra de una manera sistemática las funciones que desempeña el agua en la vida cotidiana no sólo del hombre sino de la ecología y todo lo que se refiere a cualquier forma de vida en el planeta.

Cualquier préstamo que hagamos a la naturaleza debe de alguna manera ser recompensado cuidando de no desequilibrar el sistema natural de evolución, de lo contrario ocurrirán cosas como los graves asentamientos del subsuelo y sus consecuencias en el desagüe y suministro de agua, la desecación de manantiales y pozos de agua, y la degradación de la ecología circundante entre otras. Por estas razones se hizo un estudio de las formas más convencionales de tratar el agua residual llegando a la conclusión de que los beneficios económicos no serán apreciables a corto plazo debido a las condiciones económicas que operan actualmente en el país, ya que mucha de la tecnología que se implanta para llevar a cabo estos procesos es de origen extranjero, pero en un futuro no lejano se podrán observar estos beneficios ya que actualmente existen módulos experimentales que están dando información muy importante para adecuar la tecnología a las condiciones que se requieren aplicar en México.

Los beneficios ecológicos al contrario de los económicos, son

inmediatos ya que como se dijo cualquier préstamo que se haga a la naturaleza debe ser reintegrado, y el tratar las aguas de desecho para aprovecharlas de una u otra forma es una manera muy eficiente de lograr un cierto equilibrio con la naturaleza.

Otro aspecto primordial del tratamiento de las aguas residuales, es el aprovechamiento de los lodos del cual se hizo mención en el Capítulo IV de esta tesis, de donde la agricultura podría ser la más beneficiada en su uso, y por último estudios hechos en gases desprendidos de la fermentación de esta materia sólida han demostrado que por medio de transferencia de masa se puede hacer uso del gas metano principalmente, aunque estos procesos resultan costosos en la actualidad, en un futuro no muy lejano podrían llegar a ser de gran utilidad para el hombre.

Por todo lo anteriormente expuesto y desde cualquier ángulo que se observe el problema, llegaremos a la conclusión de que el tratamiento de las aguas de desecho es un asunto que tarde o temprano deberá ser implantado en cualquier lugar del mundo donde se consuma agua.

BIBLIOGRAFIA

- APROVECHAMIENTO AGRICOLA DE LAS AGUAS NEGRAS URBANAS
M. A. GAMRASNI
ED. LIMUSA

- BIOLOGICAL PROCESS DESIGN FOR WASTE WATER TREATMENT
LARRY D. BENEFIELD - CLIFFORD W. RANDALL

- INGENIERIA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES
VOLS. I, II, III Y IV
FAIR-GEYER-OKUN
ED. CIENCIA Y TECNICA

- INTRODUCTION TO WASTEWATER TREATMENT PROCESSES
R.A. RAMALHO

- PURIFICACION DE AGUA, TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES
VOLS.: I Y II
FAIR
ED. LIMUSA

- TRATAMIENTO Y DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES
METCALF - EDDY
ED. LIMUSA