

Evaluación de calidad y alternativas de tratamiento y reúso de agua residual en un edificio de oficinas.

Tema que para el Proyecto Terminal in Extenso propone el Ing. Edgardo Ulises Martín Guzmán, alumno inscrito en la Especialización en Ingeniería Sanitaria, bajo la dirección del Dr. Enrique César Valdez

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

1. Introducción
 - 1.1 Antecedentes
 - 1.2 Objetivo
 - 1.3 Alcances
2. Marco Teórico
 - 2.1 Parámetros físicos, químicos y biológicos
 - 2.2 Técnicas de aforo y muestreo
 - 2.3 Análisis de laboratorio
 - 2.4 Descripción de los procesos de tratamiento
3. Descripción general del edificio en estudio
 - 3.1 Localización
 - 3.2 Diseño Arquitectónico
 - 3.3 Usos del agua
 - 3.4 Población
 - 3.5 Dotación
 - 3.6 Aportación
4. Estudios de campo
 - 4.1 Aforo
 - 4.2 Muestreo y pruebas de laboratorio
 - 4.3 Resultados
 - 4.4 Análisis
5. Evaluación de alternativas de tratamiento y reúso
6. Conclusiones

Capítulo 1.

Introducción

De acuerdo con el informe de la Brundtland Commission, la palabra sustentable se refiere al “desarrollo que cubre las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir las suyas”. Debido al crecimiento de la población y su consecuente mayor demanda de recursos, entre ellos el agua, se hace cada vez más necesario establecer mecanismos que permitan el desarrollo sustentable, (Isabel Escobar, 2010).

Lo sustentable ha tomado impulso en la actualidad, haciéndose presente en los medios y en la literatura actual. Y es sin embargo un concepto muy antiguo. Desde hace mucho las poblaciones humanas, de acuerdo con la manera en que interaccionan con su medio, influyen en este, de manera que pueden presentar resultados variados, unas llevan al equilibrio entre consumo y generación de recursos, como el caso de algunas culturas de antiguos nativos americanos; otras culturas antiguas se extinguieron por el agotamiento de los recursos. El concepto actual de sustentable debe ser lo suficientemente amplio para cubrir ámbitos tales como la necesidad de desarrollo de la sociedad, tecnología y al crecimiento de la población mundial. Lo sustentable hoy enfrenta el reto del consumo de recursos y la generación de residuos por una población de 7 billones de personas. Entonces, para lograr el progreso sustentable, se requiere de nuevas maneras e ideas para implantar el desarrollo, y el consumo de recursos, (Isabel Escobar, 2010).

En lo referente al agua, la clave para lo sustentable es un asunto de localización, uso y reúso de recursos. En este orden de ideas, sustentable se interpreta como “usar lo necesario, y regresarlo a la naturaleza –al ambiente – en una manera en que pueda ser usado por otros”.

En la presente Tesina, tomando en cuenta la importancia del enfoque sustentable del agua, se analizará la calidad y las alternativas de tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas.

1.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con el International Water Management Institute (IWMI), una de cada tres personas en el mundo padece de alguna forma de escasez de agua, un cuarto de la población mundial vive en zonas donde el agua es escasa, y más de un billón de personas vive en áreas donde el agua es “económicamente” escasa, o dicho de otra forma, en zonas donde el agua está disponible en ríos y acuíferos, pero falta infraestructura para hacer esta agua disponible para la gente. Hay que notar que la escasez no es un asunto de cantidad absoluta, es más bien un asunto de disponibilidad del agua en contraste con su uso habitual. Por ejemplo, en Estados Unidos, el consumo está entre 200 y 600 litros de agua por habitante por día (l·hab·día), mientras que el necesario para tomar, cocinar, lavar y desalojo de desechos es de 20 litros (Isabel Escobar, 2010). Mientras tanto, la dotación recomendada en México, sugiere al menos 150 (l·hab·día) (Mateos, 1962)

En México la escasez de agua es variable, producto de número de situaciones por la diversidad geográfica de nuestro país. En primer lugar se debe considerar la distribución temporal del

agua, puesto que las precipitaciones ocurren mayormente entre los meses de junio a septiembre. Por otro lado, la distribución espacial provoca que tengamos regiones con agua en abundancia (Sureste) y regiones con climas áridos y pocas precipitaciones (Centro y Norte de la República). Y debe tomarse en cuenta el área de análisis, pues particularmente en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la demanda ejercida por la numerosa población ejerce una presión enorme en los acuíferos de los cuales se abastece, provocando la sobreexplotación de los mismos. En el norte del país, el recurso también es sobreexplotado, debido a las concesiones de agua para uso agrícola, situación reconocida por la CONAGUA en su mapa de grados de presión sobre el recurso hídrico. La cantidad de agua dulce renovable disponible en México es de 459,000 millones de metros cúbicos anuales. (CONAGUA, 2010)

Día a día se toma conciencia de que el reciclaje del agua es la única respuesta posible para las necesidades crecientes de agua. En Estados Unidos el primer paso ha sido el desarrollo de estímulos para el reciclaje de agua en aplicaciones industriales y agrícolas.

Las Naciones Unidas declararon que en la década del 2005 al 2015, una de las metas será reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso a agua potable y servicios sanitarios, y acabar con la explotación insostenible de fuentes de agua, el desarrollo de planes de manejo y eficiencia del agua.

Para las naciones pobres es de especial importancia el desarrollo de tecnologías de bajo consumo de energía para lograr un manejo sustentable del agua.

En la Zona Metropolitana del Valle de México, la situación actual es resultado del desarrollo a lo largo de los siglos. La cuenca del Valle de México era hasta el siglo XV una cuenca cerrada en forma natural, una cuenca endorreica. Como consecuencia del desarrollo urbano, se destruyó el balance hidrológico de la cuenca, teniendo que construirse obras para el desalojo del agua excedente y obras para abastecimiento de la población, mismas que iniciaron con el Tajo de Nochistongo y que actualmente continúan, con la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO), que estará en funcionamiento en el 2014.

Cuadro 1: Fuentes de suministro de agua en el Valle de México

Fuente	Cuenca de Origen	Gasto	Porcentaje
Sistema Cutzamala	Michoacan	14.7 m ³ /s	19.1 %
Acuíferos y pozos ZMVM	Valle de México	62.2 m ³ /s	80.9 %

Adaptado del Boletín Semarnat 114-10 (SEMARNAT, 2010)

El Cuadro 1 muestra que existe un desbalance entre el consumo y la disponibilidad del recurso. También hay que considerar que este 80.9 % del agua que se obtiene por extracción de agua subterránea en los acuíferos de la zona, ha provocado compactación del suelo, con los consecuentes hundimientos, daños a estructuras, y afectación a los niveles de inclinación del sistema de drenajes de la ciudad. A nivel nacional, los usos consuntivos del agua ocupan 79,800 millones de m³ anuales.

Cuadro 2: Usos Consuntivos del agua en México

USO	Volumen Total	Porcentaje
Agrícola	61.2 km ³	76.8 %
Abastecimiento público	11.2 km ³	14.0 %
Industria autoabastecida	3.3 km ³	4.1 %
Termoeléctricas	4.1 km ³	5.1 %

Adaptado de (CONAGUA, 2010)

La búsqueda de alternativas para aumentar el abastecimiento de agua, ha llevado a la consideración del reúso de las aguas residuales municipales. Estas comprenden entre el 75-80% del uso consuntivo del agua en las ciudades, y es una de las fuentes más confiables debido a que su volumen es constante a lo largo del año. Si se le trata adecuadamente, el agua residual reclamada puede cumplir los requisitos necesarios para el uso en irrigación, procesos industriales, servicios sanitarios e infiltración en el subsuelo

El reúso del agua se define como una aplicación benéfica en la que el agua residual es depurada de forma natural o artificial, a través de procesos físicos, químicos, biológicos o mezclas de los anteriores para obtener agua con ciertas características de calidad que permitan su posterior utilización.

1.2 OBJETIVO

Este trabajo tiene por objetivo hacer un diagnóstico del uso del agua en el edificio en estudio y proponer alternativas de tratamiento con fin de reúso en el mismo, dentro de la normatividad vigente, de manera que las soluciones sean económicamente viables.

Se establecerá la metodología para el aforo, muestreo, selección de variables de interés, y análisis de las muestras.

Se determinará los usos del agua en el edificio en estudio, y la cantidad de muebles sanitarios a través de los cuales se descargan las aguas grises y aguas negras.

Se harán propuestas de las alternativas de reúso de las aguas provenientes de la planta de tratamiento dentro de los alcances definidos.

1.2 Alcances

En este trabajo solamente se llegará a la propuesta y evaluación cualitativa de alternativas con base en la calidad del agua residual, de tecnologías que resulten aplicables para determinados usos, analizando sus ventajas y desventajas, sin llegar al diseño de las mismas, tomando en cuenta las características del edificio y de la generación de aguas residuales.

El capítulo 2 presenta el marco teórico, parámetros físicos, químicos, y biológicos, técnicas de muestreo y aforo, análisis de laboratorio y descripción somera de los procesos de tratamiento.

El capítulo 3 describe las características generales del edificio en estudio, su diseño arquitectónico, los usos del agua, la población, dotación y aportación.

El capítulo 4 incluye los estudios de campo realizados en el edificio en estudio, el muestreo, pruebas de laboratorio y sus resultados, y el análisis de dichos datos.

El capítulo 5 presenta una evaluación de las alternativas de tratamiento y reúso de acuerdo con la calidad del agua residual y los posibles usos del agua reciclada.

Las conclusiones se presentan en el capítulo 6 del presente trabajo.

Capítulo 2:

Marco Teórico

2.1 Parámetros físicos, químicos y biológicos

El agua considerada potable, denominada por la NOM como “apta para uso y consumo humano” dista de ser químicamente pura. Para el uso humano debe contener una cierta cantidad de sustancias que la hagan compatible con la química interna del cuerpo. Estas sustancias, o impurezas, deberán estar dentro de ciertos límites, los cuales son definidos por asociaciones de usuarios (USA, Canadá), o por el gobierno Federal, en el caso de México, y varían de acuerdo con el uso que se destina al agua. En México, la calidad del agua para consumo humano está establecida en la norma NOM 127 SSA1 1994, que especifica los límites permisibles para el agua potable suministrada por sistemas de abastecimiento público, privado y a cualquier persona que los distribuya en todo el territorio nacional.

La calidad requerida del agua, en lo que se refiere al caso de este estudio (edificio de oficinas), depende del uso que se le desea dar, pues para consumo debe cumplir con la norma NOM127 referida, mientras que en ciertas aplicaciones (riego, lavado de automóviles, etc), no es estricto el uso de agua considerada potable. Se podría aplicar la NOM 003 SEMARNAT 1997. Sin embargo, estrictamente no hay una norma nacional que especifique la calidad requerida para el reúso de aguas y clasifique el tipo de servicio en aplicaciones de aseo de espacios externos e internos al edificios públicos o privados, tales como el abastecimiento para los muebles sanitarios (WC).

Las aguas residuales pueden ser caracterizadas por un conjunto de propiedades que se determinan mediante pruebas de laboratorio. El Cuadro 3 muestra en forma agrupada los más usuales, y sus componentes o variantes.

Cuadro 3: Parámetros para caracterizar aguas residuales

Característica	
Sólidos Suspendidos	ST, SDT, SST , SSV, SSF, SDV, SDF
Materia Orgánica	DBO, DQO, COT
Nitrógeno	N Total Kjeldahl, Nitratos, Amoniac, Nitritos
Fósforo	F. Total, ortofosfatos, F.suspendido, F.disuelto
Alcalinidad	Alcalinidad total
Índice de volumen de lodo	SVI [ml / gSS]
Tasa de Respiración del Lodo	Oxigen uptake rate OUR

Adaptado de (Henze, 2002)

El contenido de contaminantes en las aguas residuales es consecuencia de los usos que ha tenido el agua. De esta manera, las aguas residuales domiciliarias en relación a las industriales, poseen una gran cantidad de materia orgánica y organismos patógenos, mientras que en las últimas, es frecuente encontrar un mayor contenido de metales y solventes, compuestos orgánicos e inorgánicos. De ahí que el tratamiento para unas y otras debe ser distinto.

Si bien pueden ser cuantificados una gran cantidad de parámetros en cualquier muestra de agua, son de interés algunos cuantos, de acuerdo al origen y al uso o reuso de la misma. En el Cuadro 4 se listan los parámetros considerados en las Normas Oficiales Mexicanas, tanto para aguas potables como aguas residuales, y tomando en cuenta el lugar en que sean descargadas.

Cuadro 4: Parámetros monitoreados en las Normas Oficiales Mexicanas

Parámetro	NOM -127	NOM-001	NOM-002	NOM-003
Temperatura		Sí		
Grasas y aceites		Sí	Sí	Sí
Materia flotante		Sí		
Sólidos sedimentables		Sí	Sí	
Sólidos suspendidos totales		Sí		Sí
DBO ₅		Sí		Sí
Nitrógeno Total		Sí		
Fósforo Total		Sí		
Coliformes fecales	Sí			Sí
Huevos de Helminto				Sí
Arsénico	Sí	Sí	Sí	
Cadmio	Sí	Sí	Sí	
Cianuros	Sí	Sí	Sí	
Cobre	Sí	Sí	Sí	
Cromo	Sí	Sí	Sí	
Mercurio	Sí	Sí	Sí	
Níquel	Sí	Sí	Sí	
Plomo	Sí	Sí	Sí	
Zinc	Sí	Sí	Sí	

Adaptado de las Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-127-SSA1-1994, “..agua para uso y consumo humano..”

NOM-001-Semarnat-1996, “... Aguas Residuales ...descarga en ... bienes nacionales”

NOM-002-Semarnat-1996, “... Aguas Residuales ...descarga en alcantarillado..”

NOM 003-Semarnat-1997, “... Aguas Residuales... tratadas... reúso en serv. Públicos..”

Hay que notar que si bien la NOM-127-SSA1 no especifica límites para huevos de helminto, grasas, aceites, sólidos suspendidos, DBO₅, es porque se entiende que el agua potable deberá estar libre de estos contaminantes.

El Cuadro 4 pone de manifiesto que las normas consideran de particular interés los metales pesados y otras sustancias inorgánicas, principalmente por ser contaminantes conservativos y con características de bio-acumulación. Particularmente en algunos acuíferos, la presencia de estos contaminantes se debe a razones geológicas y no están relacionadas con las actividades antropogénicas.

2.2 Técnicas de aforo y muestreo

Las aguas que son objeto de estudio deben ser cuantificadas para su caracterización. Para esto es posible recurrir a las Normas Mexicanas:

- NMX-AA-014-1980, muestreo en cuerpos receptores
- NMX-AA-003-1980 aguas Residuales – Muestreo.

El método seleccionado es el de muestra compuesta, que de acuerdo definición, es la que resulta del mezclado de varias muestras simples, mientras que se llama muestra simple a aquella muestra individual tomada en un corto período de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

Para cada instante de muestreo, se hace el aforo del caudal y se toma un volumen de muestra simple. La muestra compuesta se elabora tomando de cada muestra simple el volumen que corresponde al prorratio del volumen total, de acuerdo con el aforo.

$$V_{muestra} = V_{total} \times \frac{Q_i}{\sum Q_i}$$

El volumen de muestra compuesta total será:

$$V_{total} = \sum V_i$$

2.3 Análisis de laboratorio

Debido al tipo de uso que tiene el edificio seleccionado, se determinó como parámetro de mayor importancia la DBO₅ en las aguas residuales muestreadas en el edificio.

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable, que se determina mediante la cantidad de oxígeno utilizada para degradar la materia orgánica de una muestra de agua a una temperatura de cultivo. Si el cultivo se realiza a 20°C por medio de una incubadora y se determina al quinto día, se denomina DBO_{5,20} o también se refiere comúnmente como DBO₅.

El valor de DBO₅ es importante porque a través del modelo Streeter-Phelps, nos permite predecir la cantidad de oxígeno disuelto que se encontrará disponible en un cuerpo de agua a cierta distancia de la descarga. El oxígeno disuelto es necesario para la preservación de la vida acuática en los ríos y otros cuerpos receptores de aguas residuales. En el tratamiento de aguas residuales, la DBO₅ se mide en la entrada de la PTAR y a la salida, para determinar la eficiencia de la remoción.

Para el análisis de laboratorio se utilizan los métodos del APHA "Standard Methods", o los descritos en la norma NMX AA 028 SCFI 2001, utilizando un conjunto de diluciones de la muestra en frascos Winkler sellados con o sin inóculo, tomando lectura del oxígeno disuelto inicial y el remanente al cabo de cinco días de incubación en la oscuridad para inhibir la aportación de oxígeno debido a la fotosíntesis.

2.4 Descripción de los procesos de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales es una obra de Ingeniería Sanitaria cuyo propósito es la eliminación o reducción de las características indeseables que posee el agua residual (Grady, 1980), produciendo un efluente con características tales que pueda ser vertida en un cuerpo receptor tipo A, B o C (Ley Federal de Derechos) en condiciones establecidas por la norma (NOM 001 SEMARNAT 1996).

La CONAGUA indica en su informe “Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamientos de aguas residuales en operación, 2008”, que existen 1710 plantas de tratamiento en operación, las cuales tratan aproximadamente el 36.1% de las aguas residuales colectadas, este inventario se muestra en forma resumida en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Inventario de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Proceso	Cantidad de plantas	Caudal tratado
Lagunas de estabilización	677	14631 lps
Lodos Activados	454	38631 lps
Rallfa	130	1117 lps
Fosas sépticas	77	126 lps
Biodiscos	6	414 lps
Digestores	39	321 lps

Adaptado de CONAGUA, 2008.

La fase más importante en el diseño y selección de una PTAR municipal es la caracterización del agua residual a tratar, incluyendo en este estudio el aforo, las variaciones diurnas, estacionales y las avenidas en temporada de lluvias. Las variables de laboratorio más importantes en un estudio en general serán la DBO, DQO, SST, SSV, nitrógeno total, nitratos, nitritos, fósforo y alcalinidad (Metcalf & Eddy, 2003).

Esquema general del tren de tratamiento de una PTAR

Pretratamiento: consiste en acondicionar el influente para facilitar los tratamientos, preservando las instalaciones de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices, cribas, desarenadores y trampas de grasas y aceites.

Tratamiento primario: su objetivo es reducir la materia suspendida por medio de precipitación o sedimentación. Algunas PTAR utilizan reactivos, incluso para provocar oxidación química, esta última en forma limitada por sus costos de operación. Los subproductos de estas operaciones se conocen como “lodos primarios”.

Tratamiento secundario: consiste en la disminución de los contaminantes de tipo orgánico (caracterizada principalmente por la DBO₅ y/o DQO); los tratamientos biológicos son los más

utilizados, en sus variantes de lodos activados, lagunas de oxidación, crecimiento suspendido y otros. En algunos procesos, los “lodos secundarios” se sedimentan y se recirculan como inóculo, mezclándolos con el influente.

Tratamiento terciario: en esta etapa se utilizan tratamientos físico- químicos con reactivos de alto costo y complejidad, por lo que solamente es utilizado cuando la cantidad de contaminantes no ha disminuido a los niveles estimados o cuando existen contaminantes específicos que no han sido removidos en las etapas anteriores. Entre los más utilizados se tienen: ultrafiltración, ósmosis inversa, oxidación por ozono.

Pulimiento y/o desinfección: Esta es la última etapa de la planta, y tiene como objetivo la eliminación de microorganismos una vez que se ha alcanzado los niveles esperados de contaminantes. Algunos de los procesos utilizados son: cloración, luz ultravioleta, ozonificación. El agua resultante puede cumplir con la NOM 003 SEMARNAT 1996, y por tanto reutilizarse en el riego de áreas verdes o en actividades agrícolas. (Quintanilla, 2010)

Tratamiento de Lodos: En la operación de las PTAR, son generados una cantidad de lodos, los cuales reciben un tratamiento de acuerdo con la NOM.

Tratamiento Secundario:

El tratamiento secundario generalmente es biológico, en el que la materia orgánica es oxidada por los microorganismos y convertida en CO₂. Básicamente, los microorganismos pueden estar en suspensión, (“crecimiento suspendido”) o adheridos a un medio (“crecimiento adherido”). El Cuadro 6 muestra algunos de los procesos más conocidos.

Cuadro 6: Operaciones biológicas más comunes

Reactores Crecimiento suspendido	Reactores de crecimiento adherido
Lodos Activados	Filtros Percoladores
Remoción biológica de nutrientes	Reactores de lecho fluidizado
Digestión anaerobia	Reactores de lecho empacado
Lagunas	Disco Biológico Rotatorio
Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente	Filtro biológico

Adaptado de Classification of Biochemical Operations (Grady, 1980)

Procesos de uso común para tratamiento secundario

Los efluentes poseen características propias del lugar y la población por la cual son generados, tanto en calidad como en cantidad. Para darle tratamiento se han desarrollado una gran variedad de sistemas biológicos, tales como los sistemas de crecimiento suspendido, sistemas de crecimiento adherido, sistemas aerobios, anaerobios, y mixtos.

Lodos Activados. Es el proceso más ampliamente utilizado en PTAR municipales de grandes caudales, como muestra el cuadro 5, es clasificado como tipo de crecimiento suspendido.

Este proceso ha sido sujeto de investigación y desarrollo desde sus inicios en 1880 por el Dr. Angus Smith (Metcalf & Eddy, 2003), y ha sido mejorado y diversificado a lo largo de los años, habiendo hoy numerosas variantes. Recibe este nombre debido a que hace uso de una masa de microorganismos capaces de lograr la degradación aerobia de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

El proceso de lodos activados en su forma conceptual consiste en tres componentes básicos:

1. Un reactor en el cual los microorganismos responsables del tratamiento son mantenidos en suspensión y aereados.
2. Proceso de separación de líquidos y sólidos, generalmente un tanque sedimentador.
3. Un sistema de reciclaje para retornar los sólidos sedimentables (Floc's) del tanque sedimentador al reactor.

Una parte importante del proceso de lodos activados es la formación de flóculos sedimentables, tales que puedan ser removidos por gravedad en el tanque clarificador. La generación anormal de flóculos, conocida como "lodos hinchados", es un indicador de problemas en la operación de la PTAR. Las causas probables son variaciones en la composición del agua residual, en el gasto, en pH, temperatura, contenido de nutrientes y la naturaleza de los residuos. Por limitaciones de diseño: aire insuficiente, mezcla inadecuada, cortocircuito en tanques de aireación y clarificadores, falla en diseño del clarificador, capacidad insuficiente de bomba de recirculación. Fallas operativas: nivel de oxígeno disuelto bajo, pocos nutrientes, relación alimento/microorganismo bajo, insuficiente DBO soluble. Las plantas de este tipo tienen reactores de tipo flujo-pistón, con relación de longitud a ancho de 10:1 lo cual nos da una idea de las dimensiones de la superficie requerida para la instalación de estas plantas.

SBR, Sequencing Batch Reactor, es un reactor del tipo "llenar y vaciar" que utiliza un reactor de mezcla completa en los cuales todos los pasos del sistema de lodos activados ocurren. La secuencia consiste en 1)llenado; 2)reacción (aereación); 3) sedimentación / clarificación; 4) decantación; 5) purga de lodos. El SBR no requiere de un equipo secundario para sedimentación porque el licor permanece en el reactor en todos los pasos. Se utilizan dos reactores para la secuencia. (Metcalf & Eddy, 2003). El SBR permite modificar los tiempos de cada etapa para adecuarlo a objetivos específicos de tratamiento del efluente.

IDEA. Es un reactor desarrollado en Australia. Toma el nombre de sus iniciales en inglés, Intermittent Decanted Extended Aeration. Físicamente es un solo reactor simple que lleva a cabo todas las operaciones de un proceso de lodos activados, sin embargo a diferencia del tratamiento de lodos activados, en el cual el tratamiento biológico y el proceso de sedimentación tienen lugar en tanques separados, en el IDEA se utiliza un solo tanque, el cual de manera secuencial inyecta aire y sedimenta el efluente, de manera que no es necesario bombear los lodos del sedimentador al reactor. En una operación típica, se utiliza un ciclo de cuatro horas, 2 horas de aireación, 1 hora de sedimentación, y 1 hora de decantación. Una ventaja del IDEA frente al SBR, es que no requiere de dos tanques y la operación es más simple.

Rallfa. Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente, desarrollado en Holanda por el Dr. Lettinga, es particularmente idóneo para aguas con un alto contenido de DBO [5000 – 15000 mg/l de DQO, TRH de 18-30 horas, 0.05 – 1.0 lb DQO/ft³·día, remoción del 65 al 85%, (Crites, 1998)]. Debido a la entrada por la parte inferior del influente, junto con el biogás generado, se produce suficiente mezclado con los flóculos, los cuales son fácilmente sedimentables y por tanto no se produce arrastre de los mismos.

Por otra parte, en los tratamientos de crecimiento adherido se encuentran:

Disco Biológico Rotatorio: El disco rotatorio consiste en un conjunto de discos de poliestireno o de PVC, en los cuales se encuentran adheridos los microorganismos. El conjunto de discos está acoplado a una flecha, y parcialmente sumergidos en el agua residual. La rotación de la flecha es lenta, una o dos RPM, provoca que alternadamente los microorganismos se encuentren en contacto con la atmósfera y con el agua residual, permitiendo así el crecimiento y ciclo de respiración de la biomasa, con lo que se forma una película en las caras del disco, entre 2 y 4 mm de espesor. Las unidades de DBR se han estandarizado, siendo dimensiones típicas de 3.66 m de diámetro por 7.62 m de largo, con una superficie de contacto de 9300 m². (Grady, 1980) Los CBR suelen instalarse en series y en paralelos (Metcalf & Eddy, 2003).

Los microorganismos crecen en el medio, y metabolizan la materia orgánica biodegradable y los compuestos de nitrógeno del agua residual. La biomasa en exceso se desprende de los discos, lo que permite que la película tenga un grosor constante, y es mantenida en suspensión por el movimiento del disco, hasta que el flujo del agua la lleva fuera del reactor hacia el tanque sedimentador. Cuando la tasa de carga es suficientemente baja, las bacterias nitrificantes crecen en el medio y convierten el amoníaco en nitrato.

Los DBR son particularmente adecuados cuando el influente es diluido, aún cuando el exceso de biomasa puede afectar la hidráulica del equipo. Posee aún otras ventajas: una alta eficiencia en la remoción, resistencia a toxicidad y a fluctuaciones de flujo, bajo consumo de energía, simplicidad en la operación. Desventajas: no apto para descargas concentradas, requiere de un tanque sedimentador secundario.

Reactores de Lecho expandido y/o Lecho Fluidizado: Son sistemas anaerobios, surgen como respuesta a la necesidad de un sistema económico con bajos tiempos de residencia hidráulicos. En estos, la masa biológica (bacterias) crece adherida en un medio adecuado, consistente en una cama de arena o canicas (o cuentas) de cerámica. El efluente se introduce al reactor por el fondo, a una tasa tal que haga fluir la cama. Los esfuerzos provocados por el líquido al pasar por la cama, son suficientes para limitar el crecimiento de la biomasa en el medio de soporte. Dependiendo del grado de fluidificación, estos reactores pueden recibir el nombre de “Lecho expandido” cuando el grado de expansión del lecho es menor.

Filtros biológicos: es un sistema de crecimiento adherido no sumergido, en el cual el efluente se aplica en la parte superior de una estructura que funciona como un percolador. La estructura contiene rocas o material plástico de patente, en el cual crecen las bacterias,

formando una película gelatinosa en la cual ocurre la oxidación bioquímica de la materia orgánica que contiene el efluente. El mayor problema con estas PTAR es que se pueden llegar a taponar, debido al exceso de crecimiento del material biológico. Predominan las bacterias facultativas.

Tratamiento de lodos.

Los lodos provenientes de la plantas de tratamiento de aguas residuales, aún cuando se podría pensar que contienen el “concentrado” de la contaminación, poseen un bajo contenido de sólidos totales, siendo su densidad casi la del agua. Este es el principal problema para su manejo. El Cuadro 7 muestra el porcentaje de contenido de sólidos totales en distintos lodos.

Cuadro 7: Contenido de sólidos totales en lodos

Tipo de lodo	% de ST
Lodos Activados	1%
Lodos de Filtros Percoladores	2%
Lodos primarios	5%

Adaptado de Tratamiento Biológico de Aguas de desecho, (Winkler, 1994)

El segundo problema es su gran tendencia a la putrefacción. Los lodos activados de desecho se vuelven negros y con mal olor si se les deja sin aireación por un día.

Generalmente los métodos más aplicados para el tratamiento de lodos consisten en:

- Estabilización con CaO
- Incineración
- Espesamiento
- Composteo
- Digestión
- Deshidratación
- Aplicación directa al suelo como fertilizante
- Descarga directa al mar
- Disposición en Relleno Sanitario

Capítulo 3:

Descripción General del Edificio en Estudio

3.1 Localización

El edificio de la División de Ingenierías Civil y Geomática (DICyG) está ubicado en el campus de Ciudad Universitaria, de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Delegación Coyoacán, al sur de la Ciudad de México.

3.2 Diseño Arquitectónico

El edificio de la DICyG es un edificio de tres plantas, conteniendo áreas para académicos, aéreas para intendencia, una cocineta, sanitarios, área de estacionamiento y jardín; el edificio se encuentra actualmente en remodelación, de modo que la información que disponemos está basada en un levantamiento hecho en el año 2003.

El edificio de la DICyG posee abastecimiento de agua directo de la red, la cual llega con el volumen y presión suficientes para la operación adecuada de los muebles más desfavorables que en este caso son los inodoros de fluxómetro. No se posee un medidor de flujo en la entrada del edificio. Debido al tipo de abastecimiento, no se utilizan cisternas o tanques elevados. En cuanto al diseño de la red de agua pluvial, esta se descarga directamente al albañal sin tener otro uso.

3.3 Usos del Agua

Se puede considerar que el agua recibe un “uso doméstico” en el edificio de la DICyG, con la salvedad de que no hay regaderas y de que durante la noche y en periodos de inactividad de la Universidad, no hay consumo de agua potable ni generación de aguas residuales. Las aguas producidas pueden clasificarse en aguas grises y aguas negras.

El volumen correspondiente al agua para riego de los jardines no se considera para la dotación o las aportaciones.

3.4 Población

La población del edificio está constituida por académicos, estudiantes y personal de oficina. En total, se estima que hay 180 personas. Sin embargo, no todas estas personas aportan aguas residuales.

3.5 Dotación

La dotación del edificio proviene de la red de agua potable de C.U., la cual se extrae de pozos profundos mediante bomba sumergible. Para determinar el volumen consumido en cada edificio se debe hacer estudios de campo, debido a que no se dispone de un medidor de flujo en la entrada del edificio. Un estudio realizado calcula el consumo tomando en cuenta la cantidad de veces que se operan los fluxómetros durante el día (Mata Amaro, 2010) y también se puede hacer uso de las recomendaciones del RISRE, Art. 52. (Mateos, 1962), ambos se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Estimación del volumen utilizado en el edificio en estudio.

Nivel o Piso	Cubículos	Muebles	Población
Tercer Nivel	39	4WC + 2 MG + 4 Lav	80
Segundo Nivel	39	4 WC + 1 MG + 4 Lav + Vertedero	80
Planta Baja	8	4 WC + 1 MG + 4 Lav + Vertedero	20
Total Personas			180
Aportación (según RCDF, ARDF 1993)			2880 litros/día
Aportación (Mata, 2010)			844 litros/día

Adaptado del Reglamento de Construcciones del D.F y del estudio de aportaciones por Luis Mata realizado en 2010.

Podemos observar, que los datos estimados con los 20 l-persona·día según las recomendaciones del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, y los resultados de las pruebas de campo de la campaña de muestreo del 2010 por Luis Mata, muestran una gran divergencia, esto se debe a que las recomendaciones son para diseño de las instalaciones, mientras que el aforo realizado corresponde a los hábitos y condiciones ambientales en la fecha del muestreo.

3.6 Aportación

La aportación se define como el volumen de aguas residuales que se descargan en la red de alcantarillado. Para el caso de una residencia, se considera el 80% del volumen que entra, puesto que el resto se ocupa en riego de jardines, plantas, preparación de alimentos y para mascotas. En nuestro caso de estudio, la aportación se puede determinar mediante un aforo directo, el cual idealmente debería comprender un periodo de muestreo amplio con el fin de identificar las variaciones estacionales. De manera práctica, se realizó el muestreo durante una semana.

Capítulo 4.

Estudios de campo

El caudal y las características del agua residual generadas en este o cualquier edificio, están en función de las actividades que en él se desarrollan. Para el estudio de éstas, es necesario conocer el sistema de drenajes del edificio, localizar sus descargas, colección de muestras y aforo. En este edificio en particular, se han realizado dos campañas de aforo, la segunda de ellas se realizó durante la semana del 8 al 12 de Noviembre del 2010, consistente en aforo y toma de muestra compuesta para su análisis de DBO. Previa a ésta, se tiene documentada la campaña antes mencionada en la cual se hace una estimación por medio del conteo de ocasiones que se operan los fluxómetros, que forma parte del estudio para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (Mata Amaro, 2010).

4.1 Aforo

Durante el muestreo que se hizo para determinar la calidad del agua residual, se realizó también el aforo de las aportaciones. El método empleado es el de la muestra compuesta, con un periodo de muestreo de 7 AM a 9 PM, de lunes a viernes durante 5 días, puesto que este es el periodo en que el edificio está habitado. La toma de esta muestra se realizó directamente, recolectando el total del agua en una cubeta de 10 litros, y contabilizando la cantidad de veces que se llenaba en un lapso de tiempo. Al llenarse la cubeta se vaciaba y se anotaba en la libreta, por períodos de una hora. El Cuadro 9 muestra el resultado de esta campaña:

Cuadro 9: Volúmenes registrados en la campaña de aforo de Noviembre 2010

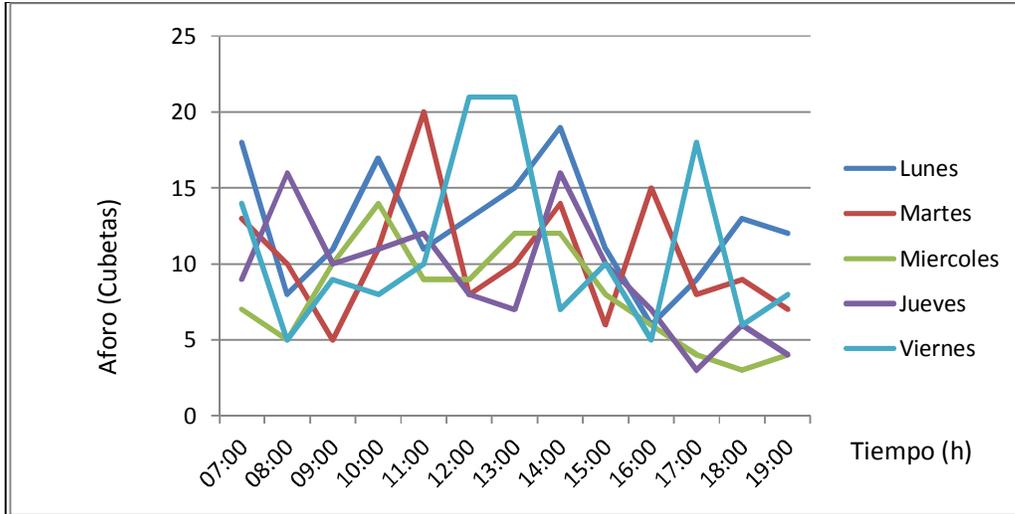
Nombre	Hora	Volumen (Cantidad de Cubetas)				
		Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
Luis A. Mata	07:00 - 08:00	18	13	7	9	14
"	08:00 - 09:00	8	10	5	16	5
"	09:00 - 10:00	11	5	10	10	9
Alexis	10:00 - 11:00	17	11	14	11	8
"	11:00 - 12:00	11	20	9	12	10
"	12:00 - 13:00	13	8	9	8	21
"	13:00 - 14:00	15	10	12	7	21
Luis A. Mata	14:00 - 15:00	19	14	12	16	7
"	15:00 - 16:00	11	6	8	10	10
"	16:00 - 17:00	6	15	6	7	5
Diego	17:00 - 18:00	9	8	4	3	18
"	18:00 - 19:00	13	9	3	6	6
Luis A. Mata	19:00 - 20:00	12	7	4	4	8
Total		163	136	103	119	142

Adaptado de (Mata Amaro, 2010)

Como era de esperarse, el volumen obtenido presenta grandes variaciones, debido a que el uso de los sanitarios, si bien obedece a las costumbres de cada individuo, es en esencia

aleatorio, porque depende de la hora de llegada de las personas, sus actividades, los alimentos que haya tomado, la temperatura exterior, etc. La Gráfica 1 muestra estas variaciones.

Gráfica 1. Volúmenes registrados en la campaña (cubetas/hora)



Adaptado de (Mata Amaro, 2010)

Para tener mayor precisión en el diseño de una PTAR, es de vital importancia conocer la aportación, su gasto máximo horario y su gasto máximo extraordinario, puesto que de esto dependerá el dimensionamiento de los equipos.

Para el caso en cuestión, se tiene un promedio de:

$$Q \text{ medio} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{102 \times 2.283}{44} = 0.0283$$

El gasto máximo horario, tomado como la máxima cantidad aforada en una hora, es de:

$$Q_{\text{max.horario}} = \frac{102 \times 0.0583}{44} = 0.0583$$

4.2 Muestreo y pruebas de laboratorio

Una vez que se ha obtenido un volumen de muestra para cada hora, se procede a preparar la muestra compuesta (Vol=4.0 litros), prorrateando el volumen de cada muestra individual en el total, de acuerdo al caudal que le corresponde.

Cuadro 10. Composición de la muestra compuesta del día 8/11/2010

Fecha: 08/11/2010

Nombre	Hora	No. de cubetas vaciadas	Hora de muestra	ID muestra	T [°C]	Volumen [l]	%Vol	ml de muestra
Luis A. Mata	07:00 - 08:00	18	07:45	08_1	14	180	11.04	442
"	08:00 - 09:00	8	08:40	08_2	14	80	4.91	196
"	09:00 - 10:00	11	09:45	08_3	14	110	6.75	270
Alexis	10:00 - 11:00	17	10:50	08_4	15	170	10.43	417
"	11:00 - 12:00	11	11:43	08_5	15	110	6.75	270
"	12:00 - 13:00	13	12:54	08_6	16	130	7.98	319
"	13:00 - 14:00	15	13:47	08_7	16	150	9.20	368
Luis A. Mata	14:00 - 15:00	19	14:50	08_8	17	190	11.66	466
"	15:00 - 16:00	11	15:48	08_9	17	110	6.75	270
"	16:00 - 17:00	6	16:40	08_10	17	60	3.68	147
Diego	17:00 - 18:00	9	17:45	08_11	17	90	5.52	221
"	18:00 - 19:00	13	18:42	08_12	15	130	7.98	319
Luis A. Mata	19:00 - 20:00	12	19:38	08_13	15	120	7.36	294
Total		163			Total	1630	100.00	4000.00

Adaptado de (Mata Amaro, 2010)

Para la prueba de DBO₅ se utiliza el método descrito en el Manual de Prácticas de Laboratorio (Vazquez, 2006) con tres diluciones. Los porcentajes de dilución elegidos fueron de 0.5%, 1.0%, y 5%. Para cada dilución, el día que se inicia la incubación se determina por titulación la cantidad de oxígeno disuelto, al cual llamaremos "oxígeno inicial". Los frascos se sellan, se identifican adecuadamente y se incuban por cinco días a una temperatura controlada de 20°C. Al quinto día se determina la cantidad de oxígeno en el frasco Winkler, con el mismo método con que se determina el oxígeno inicial, que es el método de titulación con tiosulfato.

4.3 Resultados

La DBO₅ para muestras con dilución, se calculan con la siguiente expresión:

$$DBO_5 = \frac{D_1 - D_2 \cdot f}{\% \text{ dilución}}$$

En la cual el % de dilución se expresa en forma decimal (1% =0.01; 5%=0.05).

Cuadro 11. Tabla de resultados de análisis de laboratorio, DBO₅.

Fecha	Ensayo	Dilución								
		0.50%			1%			5%		
		Inicial	Final	DBO 5	Inicial	Final	DBO 5	Inicial	Final	DBO 5
08-nov	Frasco A	7.3	5.0	460.0	7.2	3.4	380.0	7.2	0.0	S.D. *
	Frasco B	7.3	4.4	580.0	7.2	4.5	270.0	7.2	0.0	S.D. *
09-nov	Frasco A	6.9	5.4	300.0	6.8	3.9	290.0	6.8	0.0	S.D. *
	Frasco B	6.9	5.2	340.0	6.8	4.2	260.0	6.8	0.0	S.D. *
10-nov	Frasco A	6.9	5.1	360.0	6.9	2.8	410.0	6.9	0.0	S.D. *
	Frasco B	6.9	5.3	320.0	6.9	2.9	400.0	6.9	0.0	S.D. *
11-nov	Frasco A	6.4	5.9	100.0	6.4	4.4	200.0	6.3	0.0	S.D. *
	Frasco B	6.4	5.8	120.0	6.4	4.2	220.0	6.3	0.0	S.D. *
12-nov	Frasco A	5.7	4.9	160.0	6.4	3.3	310.0	6.3	0.0	S.D. *
	Frasco B	5.7	5.0	140.0	6.4	3.7	270.0	6.3	0.0	S.D. *

(S.D.*: Sin determinación, oxígeno agotado).

Adaptado de (Mata Amaro, 2010)

Cuadro 12. Concentraciones típicas para A.R. Municipales.

Constituyente	Concentración mg/l		
	Alto	Medio	Bajo
DBO 5,20	350	190	110
Carbono Organico Total COT	260	140	80
Demanda Química de oxígeno DQO	800	430	250
Coliformes Totales nmp/100 ml	10 ⁷ -10 ¹⁰	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁶ -10 ⁸
Compuestos orgánicos Volátiles COV	>400	100-400	<100

Adaptado de (Metcalf & Eddy, 2003)

4.4 Análisis

Como puede observarse, la estrategia de diluciones resulta en datos experimentales dentro del rango esperado, algunos con muestras muy concentradas para la prueba, como es el caso del frasco con 5% de muestra, el cual agota todo el oxígeno disponible, por tanto se debe descartar. De las diluciones restantes, el dato que mejor refleja el contenido de materia orgánica es el de la dilución de 1%. Hay que señalar que la prueba del DBO₅ es un bioensayo, y que no toda la materia orgánica puede ser consumida por los microorganismos presentes en la muestra y/o en el agua de dilución, por lo tanto, la prueba en sí carece de precisión. El gran valor de esta prueba radica en su relación directa con el agotamiento del oxígeno en los cuerpos receptores de aguas residuales.

El agua residual en estudio, al compararse con los valores típicos esperados para aguas residuales municipales, con un valor promedio de 250 mg/l, cae en el rango de medio a alto para el constituyente de demanda bioquímica de oxígeno.

Capítulo 5.

Evaluación de alternativas de tratamiento y reúso

Criterios aplicables

Si bien se disponen de una variedad de posibles tratamientos para las aguas residuales, así como para su reúso, la selección del tratamiento más adecuado es una cuestión técnica, limitada tanto por las características del agua residual como por restricciones de tipo energético y de tecnologías disponibles, mientras que las posibilidades de reúso son limitadas por la aceptación del usuario y por el cumplimiento de la legislación aplicable - NOM-003-SEMARNAT 1996.

Estudios realizados desde 1970, han determinado que el grado de aceptación para las aguas tratadas tiene una relación inversamente proporcional con la cercanía o grado de contacto del usuario con dichas aguas. (Middlebrooks, 1982). Estudios más recientes realizados en Australia, muestran que la tendencia se mantiene (Isabel Escobar, 2010).

Cuadro 13. Rechazo del usuario a aplicaciones de agua tratada.

Uso	Middlebrooks 1982	Escobar 2010
Agua para beber	13	36%
Bañarse	10	61%
Cocinar	11.5	46%
Lavar la ropa	9	76%
Lavar el carro	n.d.	85%
Lavar la acera	2	86%
Uso en aparatos sanitarios	4.5	92%

Middlebrooks propone la escala 1= mayor aceptación, 13 = mayor rechazo; Escobar propone la escala de 100%= mayor aceptación, 0% mayor rechazo. Adaptado de (Middlebrooks, 1982) e (Isabel Escobar, 2010)

Es de gran importancia evaluar el efecto de la opinión pública en un tema tan delicado como el agua, puesto que la oposición puede ser tan grande que provoque el cierre o cancelación del proyecto. Los estudios indican también que la aceptación del público aumenta en forma proporcional con el grado de escolaridad, y con el grado de confianza en el organismo operador y autoridades sanitarias (Middlebrooks, 1982).

Por otro lado, se debe cumplir con la legislación vigente para el uso de aguas tratadas. En México la NOM 003 SEMARNAT 1997 en su Tabla 1, distingue solamente dos categorías de uso, denominadas “ Servicios al público con contacto directo” y “Servicios al público con contacto indirecto u ocasional”, y se especifican los límites de contaminantes permisibles (Coliformes Fecales NMP/100ml, Huevos de Helminto, Grasas y Aceites, DBO₅, SST). La norma no es clara en cuanto a aplicaciones específicas de las aguas tratadas. A manera de comparación, en la legislación de California, que se muestra en el Cuadro 14, se detallan largamente los usos y las condiciones en que se permite utilizar el agua residual tratada.

Cuadro 14. Aplicaciones del agua tratada en California, USA.

Aplicación del A.R.Tratada	Condiciones para uso permitido		
	Tratamiento terciario con desinfección	Tratamiento secundario con desinfección, título 22	Tratamiento secundario sin desinfección
Cualquier uso excepto preparación de alimentos ó recarga de acuíferos	Aceptable	No permitido	No permitido
Riego de parques, patios de escuelas, jardines residenciales	Aspersión, goteo o superficial	No permitido	No Permitido
Riego de cementerios, jardines de avenidas	Aspersión, goteo o superficial	Aspersión, goteo o superficial	No permitido
Plantas ornamentales para uso comercial	Aspersión, goteo o superficial	Aspersión, goteo o superficial	No permitido
Pastos para ganado vacuno u otros animales	Aspersión, goteo o superficial	Aspersión, goteo o superficial	No permitido
Semillas no consumidas por personas como alfalfa o algodón	Aspersión, goteo o superficial	Aspersión, goteo o superficial	Goteo o Superficial
Cultivos que están sobre la tierra y no en contacto con el agua de reúso	Aspersión, goteo o superficial	Goteo o superficial	No Permitido
Árboles de navidad	Aspersión, goteo o superficial	Aspersión, goteo o superficial	Goteo o superficial
Lagos artificiales de acceso no restringido	Aceptable	No permitido	No permitido
Uso en sanitarios (WC) o urinarios	Aceptable	No Permitido	No Permitido
Abastecimiento para lavanderías comerciales o públicas de ropa	Aceptable	No Permitido	No Permitido
Torres de refrigeración industrial	Aceptable	No Permitido	No Permitido
Procesos industriales con exposición a obreros	Aceptable	No Permitido	No Permitido
Agua contra incendio	Aceptable	No permitido	No permitido
Lavado de agregados y fabricación de concreto	Aceptable	Aceptable	No permitido
Control de polvos en carreteras	Aceptable	Aceptable	No permitido
Mojado de cepillos en barredoras de uso en calles y vialidades	Aceptable	Aceptable	No permitido
Lavado de alcantarillados	Aceptable	Aceptable	No permitido
Lavado de banquetas	Aceptable	Aceptable	No permitido

Adaptado de California DHS 1994, Wastewater reclamation criteria, Title 22, Div. 4, California Administrative Code, California Department of Health Services (Crites, 1998)

En diferentes lugares del mundo existen, aunque no muy desarrolladas, otras directivas de usos de aguas reclamadas, cada cual posee diferentes criterios para la calidad del agua tratada.

La directiva del consejo Europeo referente a criterios bacteriológicos para agua utilizada en actividades de natación, refiere los siguientes límites (Masschelein, 2002):

- Coliformes Totales: Menos de 500 NMP/100 ml para el 80% de las muestras en un determinado sitio, y menos de 10,000 NMP/100 ml para el 95% de las muestras
- Coliformes Fecales: Menos de 100 NMP/100 ml para el 80% de las muestras
- Streptococos Fecales: Menos de 100 NMP /100 ml para el 90% de las muestras.

En Israel, el criterio bacteriológico para uso de aguas tratadas en agricultura es el siguiente:

- Vegetales que han de ser cocidos, frutas, campos de fútbol, campos de golf: Menos de 250 NMP /100 ml para el 80% de las muestras.
- Irrigación de cultivos sin restricciones: Menos de 12 NMP/100 ml
- Parques públicos : Menos de 3 NMP /100 ml.

En nuestro caso en estudio, en el edificio de la DICyG, según se pudo determinar mediante el aforo realizado, el volumen de agua a tratar es pequeño, y el efecto de la población reducida ocasiona grandes variaciones en el aforo, también en los fines de semana y en períodos de puentes, vacaciones y otros. Estas limitan el número de alternativas de tratamiento aplicables.

En Inglaterra se tiene documentada la experiencia de operadores privados con las PTAR utilizadas en este tipo de aplicaciones, concluyendo que la mejor técnica para tratar aguas residuales de poblaciones pequeñas (entre 500 y 2000 habitantes) consiste en tratamiento por medio de discos biológicos rotatorios, seguidos de la absorción por medio de humedales artificiales (Rolfe, 1994). El autor cita la experiencia de Severn Trent Water LTD, quien es un proveedor de servicios en U.K., con cerca de 1050 plantas de tratamiento de este tipo. Algunos de los problemas más frecuentes encontrados en la operación de sus DBR son los siguientes: Bajo rendimiento del clarificador secundario; rotura de las flechas del DBR; falla de las paredes entre los tanques primarios y finales; sensibilidad a flujos de régimen alto.

Por estas razones, la situación planteada del agua en el edificio de la DICyG, apuntaría hacia el tratamiento por medio de DBR, y el reúso de las aguas tratadas en los sanitarios (toilet flushing). Otros usos posibles, aunque limitados por el gasto disponible, serían:

1. Aseo del edificio (agua tratada desinfectada)
 2. Riego de áreas verdes (aplica la NOM 003)
 3. Sanitarios (WC y MG)(agua tratada desinfectada)
- El agua para los sanitarios puede provenir de la PTAR utilizando cloro para desinfección, dosificado para que pueda proveer una concentración residual de 1mg/l. El sistema de alimentación a los WC deberá ser abastecida por un sistema de presión a través de una red de aguas tratadas que deberá ser independiente de la red de abastecimiento de AP de C.U.

El uso sustentable y seguro del agua residual es un factor importante para alcanzar las metas del milenio (referentes a reducir a la mitad la cantidad de personas sin acceso a agua potable) al preservar las fuentes de agua dulce para uso y consumo humano. (Scott, 2004) Se requiere de un cambio de mentalidad, para dejar de pensar en resolver un problema de sanidad y en lugar de esto, pensar en cómo manejar un recurso que genera ganancias (uso del agua en la agricultura).

Otros posibles tratamientos para las aguas residuales del edificio en estudio se enlistan a continuación.

Proceso de oxidación química con ozono

Una alternativa de tratamiento de A.R. consiste en la remoción de materia orgánica de los efluentes secundarios mediante la oxidación química con ozono. Experimentalmente se ha determinado que con dosis de 0.75 mg/l se logra una remoción de DQO del 73% (Ramírez, 2008) con un TRH de 60 minutos. Dosis mayores no tienen un impacto en la remoción debido a la baja reactividad de algunos compuestos orgánicos presentes en el efluente. El ozono también remueve el color del AR, aún con dosis bajas de ozono. Funciona también como ayuda para los procesos de coagulación y filtración; oxida toda la materia, incluso los compuestos orgánicos como fenoles, cianuro, plaguicidas, hidrocarburos, precursores de subproductos de desinfección con cloro.

Desinfección con Luz UV

El mecanismo de desinfección consiste en la absorción de longitudes de onda correspondientes a la región del UV del espectro electromagnético por las proteínas y ácidos nucleicos, resultando en un daño en la capacidad de multiplicación de los microorganismos (Masschelein, 2002). No se han encontrado actividad mutagénica en los microorganismos irradiados. Este método no produce compuestos secundarios cancerígenos, como es el caso de la desinfección con cloro cuando se aplica en aguas con contenido de materia orgánica.

Por otro lado, se ha considerado como desventaja de este método la ausencia de poder de desinfección residual, aunque en la mayoría de las plantas, el efluente no es posclorinado.

Ejemplos de plantas de escala industrial para suministro de agua potable se encuentran en Francia, en las ciudades de Marsella y Rouen; en Estados Unidos en Henderson, Kentucky; Horton, Kansas; Perrysburg, Ohio; en Bélgica, en la ciudad de Sovet; y como postratamiento en Méry-sur-Oise, en París, Francia.

El uso de luz UV como mecanismo de desinfección para aguas residuales considera como parámetros dominantes la transmitancia de luz UV, y los sólidos suspendidos totales SST. Ejemplos de estas plantas se tienen en Gwinnett County, Georgia, con un caudal de 1580 m³/h; en Newcastle, Indiana; se ha encontrado que las bacterias fecales adsorbidas en los sedimentos son más resistentes que las bacterias de nado libre.

Conclusiones

1. Al evaluar los diferentes tipos de tratamiento biológico de aguas residuales en edificios de uso público, se debe considerar los períodos en que el edificio está deshabitado, y por tanto, con aportaciones reducidas y de calidad diferente. Estos períodos pueden interferir con el arranque y estabilización del mecanismo. Por tanto, el tratamiento debe ser tal que soporte variaciones en la carga, y largos periodos sin alimentación de nutrientes.
2. Se debe considerar que no toda el agua utilizada en edificios públicos requiere ser potable y cumplir la NOM 127 SSA1. No existe sin embargo una norma que especifique la calidad requerida para estos usos tales como riego de jardines, suministro de WC, limpieza de pasillos, ventanas y otras áreas del edificio
3. Al analizar la viabilidad económica de una propuesta de reúso de agua residual tratada, resulta que el costo por metro cúbico de la misma es mayor que el costo del agua suministrada por los organismos operadores. Esto se debe a dos situaciones: la infraestructura requerida y el costo de operar una PTAR es considerable cuando se compara contra el costo subsidiado del agua potable. Por otro lado, no se ha generado aún conciencia del grado de escasez del recurso hídrico en México, en parte por las obras que transportan el recurso desde otras localidades, y por el control político que se ejerce sobre el agua.
4. Debido a las características del ciclo hidrológico, toda el agua en principio es reciclada y reutilizada. Las cantidades anuales de agua disponible son afectadas por los cambios climáticos (precipitaciones escasas o grandes avenidas), por las afectaciones a cuencas (contaminación), y por disminución de la superficie de infiltración ocasionada por las grandes ciudades, que reduce la recarga de los acuíferos.
5. Se requiere de un estudio más detallado para determinar la población óptima en la cual es económicamente factible un sistema de reúso de agua para sanitarios. La mayor aportación de aguas residuales proviene del sistema de transporte de excretas y de las aguas grises en instalaciones domésticas, y al mismo tiempo, el reúso en transporte de excretas es la aplicación con el mayor grado de aceptación por los usuarios.
6. El factor monetario juega un importante rol en el manejo del agua. Si el costo por metro cubico del agua extraída fuese mayor que el del agua residual tratada apta para uso agrícola, entonces sería muy fácil encontrar impulso para proyectos de reúso de agua con fines agrícolas, siendo esta una fuente de financiamiento interna (para el agricultor y para el organismo operador) para el desarrollo de nuevos proyectos de abastecimiento, de tratamiento y de esta forma facilitando la meta de 100% aguas tratadas y 100% cobertura de A.P. y protegiendo al mismo tiempo los acuíferos.
7. Una de las ventajas del reúso del agua, es que disminuye el costo energético de transportar el agua desde acuíferos remotos (caso del sistema Cutzamala) debido a que el agua se produce en el mismo sitio que se utiliza.

Bibliografía

- Alba, V. G. (2006). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Mexico DF: FI, UNAM.
- ARDF. (1993). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Mexico DF: Diario Oficial.
- AWWA. (1985). Proceedings, AWWA Seminar on Impementation of Water Reuse. *Annual Conference*. Denver, CO: American Water Works Association.
- CONAGUA. (2010). *Estadísticas del agua en México*. Mexico DF: Comision Nacional del Agua, Subdirección General de Programación.
- CONAGUA. (2008). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Mexico DF: Comisión Nacional del Agua.
- Crites, R. (1998). *Small and Decentralized Waste Water Management Systems*. New York: Mc. Graw Hill.
- EPA. (6 de 1993). *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment*. Recuperado el 10 de 7 de 2011, de <http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/sub.pdf>
- Grady, L. (1980). *Biological Wastewater Treatment, Second Edition Revised and Expanded*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Henze, M. (2002). *Wastewater Treatment*. Berlin: Springer Verlag Berlin Heilderberg.
- Isabel Escobar, A. S. (2010). *Sustainable Water for the future*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Masschelein, W. (2002). *Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation*. Florida, USA: CRC Press LLC.
- Mata Amaro, L. A. (2010). *Tesis: Proyecto para la Operacion de un prototipo de sistema de tratamiento de aguas residuales a base de contactores biológicos rotatorios*. México DF.
- Mateos, A. L. (1962). *Reglamento de Ingenieria Sanitaria Relativo a Edificios*. México: Diario Oficial.
- Metcalf & Eddy, I. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. New York: Mc Graw Hill series in Civil and enviromental engineering.
- Middlebrooks, E. (1982). *Water Reuse*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers Inc. USA.
- N.Agathos, S. (2003). *Biotechnology for the Environment: Wastewater Treatment and Modeling; WasteGas Handling Vol. 3*. Dordrechts, The Netherlands: Kluver Academic Publishers.
- Quintanilla, D. L. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales en la UpMor*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2011, de

http://www.atl.org.mx/seminario/images/ponencias/tratamiento_aguas_residuales_upemor.pdf

Ramírez, H. R. (15 de Febrero de 2008). Oxidación con ozono de un efluente biológico para la recarga artificial de acuífero. Mexico, DF, Mexico.

Rolfe, B. (1994). *Wastewater treatment: Evaluation and Implementation*. London: Thomas Telford Services LTD, U.K. .

Scott, C. (2004). *Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and enviromental realities*. Trowbridge, U.K.: Cromwell Press.

SEMARNAT. (13 de Mayo de 2010). ATL. Obtenido de Comunicado de prensa 114-10: http://www.atl.org.mx/aguadf/index.php?option=com_content&view=article&id=333:conagua-presenta-alternativas-para-lograr-la-sustentabilidad-hidrica-en-el-valle-de-mexico&catid=38:otras-noticias&Itemid=69

Torrentera, J. E. (17 de Agosto de 2000). Problemas y Perspectivas del tratamiento y reúso de aguas residuales en el Distrito Federal. Mexico, DF, Mexico .

Winkler, M. (1994). *Tratamiento biologico de aguas de desecho*. Mexico DF: Editorial Limusa S.A de C.V.