

98  
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UN  
SISTEMA DE SEGREGACION Y  
TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES GENERADAS EN UNA PLANTA  
DE PINTURAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUIMICA  
P R E S E N T A  
SONIA MEDINA GARCIA



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

## JURADO ASIGNADO

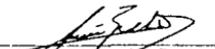
**PRESIDENTE** Prof. DURÁN DOMÍNGUEZ MA DEL CARMEN  
**VOCAL** Prof. TORRES BARRERA RODOLFO  
**SECRETARIO** Prof. LUNA PABELLO VÍCTOR MANUEL  
**1er. SUPLENTE** Prof. CALDERÓN VILLAGÓMEZ HILDA ELIZABETH  
**2do. SUPLENTE** Prof. LÓPEZ MARTÍNEZ JOSÉ LUIS

## SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

Programa de Ingeniería Química y Química Ambiental, Facultad de Química, UNAM  
Planta de pinturas Du Pont, Tlalnepanitla.



\_\_\_\_\_  
Dra. Ing. Ma del Carmen Durán Domínguez  
ASESORA



\_\_\_\_\_  
Ing. José Rosales Osceos  
SUPERVISOR TÉCNICO

Medina García S.  
Sonia Medina García  
SUSTENTANTE

# AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Luis y María*

*por sus sabios consejos, apoyo incondicional, cariño, dedicación y  
paciencia durante todos los días de mi vida.*

*A mis hermanos Angeles, Carmen y Ezequiel*

*por escucharme y ayudarme siempre que los necesito.*

*A mis amigos*

*Por confiar en mí y sobre todo por su apoyo moral.*

*A la Universidad*

*por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos necesarios para  
desarrollarme personal y profesionalmente.*

## CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN/ABSTRACT	1
1. PROBLEMÁTICA	3
1.1 Giro industrial de la empresa en estudio	3
1.2 Problemática de la empresa	4
2 SITUACION ACTUAL EN MEXICO EN MATERIA DE AGUA	7
2.1. Uso domestico	8
2.2. Uso agricola	9
2.3. Uso industrial	10
2.4. Uso para generacion de energia electrica	11
2.5. Uso en acuicultura y pesca	12
2.6. Uso para recreacion y turismo	13
2.7. Uso para la navegacion	13
2.8. Uso por el medio natural	14
3. OBJETIVOS Y METAS	17
4. TRABAJO EN CAMPO	19
4.1. Conocimiento del sistema de suministro de agua	20
4.1.1. Distribución de los usos del agua en la planta	20
4.1.2. Volumen total del suministro de agua a la planta	20

	<b>Pág.</b>
<b>4.2. Levantamiento de la red de drenajes</b>	<b>24</b>
4.2.1. Reconocimiento de la red de drenajes	24
4.2.2. Recoleccion del agua residual en las diferentes fosas	25
4.2.3 Modificacion de las lineas de drenaje	27
<b>5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS</b>	<b>30</b>
5.1 Tipos de agua residual generada	31
5.2. Caracteristicas de las aguas residuales de servicios (tipo domestico)	32
<b>6. PROPLESTA DE SEGREGACION DE CORRIENTES DE AGUA RESIDUAL</b>	<b>35</b>
6.1 Volúmenes de agua residual segregados	35
6.2 Requerimientos del agua tratada para su reuso	39
<b>7. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>41</b>
7.1 Metodologias de tratamiento de aguas residuales	41
7.1.1 Tratamiento preliminar/primario	41
7.1.2. Tratamiento secundario	42
7.1.3. Tratamiento avanzado	42
7.1.4. Tratamiento y disposicion del lodo generado durante la depuracion	42
7.2. Variables que influyen en la seleccion del tratamiento	43
7.3. Procesos convencionales para la eliminacion de contaminantes	44
7.3.1 Remocion de solidos suspendidos y sedimentables	44
7.3.2 Remocion de materia organica biodegradable	46
7.3.3 Remocion de nutrimentos	49
7.3.4 Remocion de patógenos	50

	<b>Pág.</b>
7.3.5 Remoción de materia orgánica no biodegradable	50
7.3.4. Lodos	51
7.4. Evaluación de varios sistemas de tratamiento	52
7.4.1 Proceso fisicoquímico	53
7.4.2 Reactor anaerobio de lechos de lodos con flujo ascendente	54
7.4.3 Filtro percolador	55
7.4.4 Lodos activados	57
7.4.5 Discos biológicos rotatorios	58
7.5. Selección del proceso de tratamiento	59
8. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PROPUESTO	63
8.1 Condiciones de operación simuladas	63
8.2 Resultados de la simulación del tratamiento biológico	65
9. EVALUACIÓN ECONÓMICA	66
9.1. Inversión de capital	66
9.2. Cotización comercial	67
9.3. Inversión de capital fijo	72
9.4. Capital de trabajo	72
9.4.1. Energía eléctrica	72
9.4.2. Desinfección	72
9.4.3. Lubricantes	73
9.4.4. Mano de obra	73
9.4.5. Servicios regulares por terceros	74
9.4.6. Costo total de operación	75

	<b>Pág.</b>
<b>9.5. Justificación económica</b>	<b>75</b>
<b>9.5.1 Ahorro anual</b>	<b>76</b>
<b>9.5.2. Tiempo de recuperación</b>	<b>76</b>
<b>9.5.3 Utilidades de la inversión</b>	<b>76</b>
<b>9.5.4. Factor de retorno de la inversión</b>	<b>77</b>
<b>10. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>78</b>
<b>11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
TABLA 4 1	Flujo total estimado del suministro de agua a la planta	24
TABLA 4 2	Flujo y destino final del agua residual de servicios	27
TABLA 4 3	Flujo y destino del agua utilizada en áreas de proceso	28
TABLA 5 1	Parámetros que identifican a las aguas residuales domesticas	33
TABLA 5 2	Composicion típica de las aguas residuales de servicios	33
TABLA 5 3	Límites máximos permisibles parámetros establecidos por la normatividad para descargas de agua residual al alcantarillado	34
TABLA 6 1	Flujo del agua residual en fosa 1	37
TABLA 6 2	Flujo del agua residual en fosa 2	37
TABLA 6 3	Flujo del agua residual en parte de fosa 3	37
TABLA 6 4	Flujo del agua residual en parte de fosa 3	38
TABLA 6 5	Flujo del agua residual en fosa 4	38
TABLA 6 6	Flujo del agua residual recuperable	38
TABLA 6 7	Flujo del agua residual no recuperable	39
TABLA 6 8	Criterios de control de calidad de las aguas tratadas para su posible reuso	40
TABLA 7 1	Procesos de tratamiento anaerobio	47
TABLA 7 2	Procesos de tratamiento aerobio	48
TABLA 8 1	Características del influente y efluente del sistema de tratamiento	64
TABLA 8 2	Flujo de las aguas residuales de proceso canalizadas a las fosas 1 y parte de la 3	64
TABLA 8 3	Flujo de las aguas residuales domesticas canalizadas a las fosas 2, 4 y parte de la 3	64

	<b>Pág.</b>
<b>TABLA 8 4</b> Resultados más importantes de la simulación para un flujo de $1.46\text{m}^3/\text{h}$	<b>65</b>
<b>TABLA 9 1</b> Características del influente de la planta paquete	<b>68</b>
<b>TABLA 9 2</b> Características del efluente de la planta paquete	<b>68</b>
<b>TABLA 9 3</b> Características generales de la planta de tratamiento seleccionada	<b>70</b>
<b>TABLA 9 4</b> Características generales de la planta cotizada	<b>71</b>
<b>TABLA 9 5</b> Costos de lubricantes de la planta cotizada	<b>73</b>
<b>TABLA 9 6</b> Costos de mano de obra de la planta cotizada	<b>74</b>
<b>TABLA 9 7</b> Costos de operación de la planta paquete	<b>75</b>
<b>TABLA 10 1</b> Ahorro estimado en el suministro de agua fresca, si se realiza un tratamiento separado del agua residual de tipo doméstico de la de proceso	<b>81</b>
<b>TABLA 10 2</b> Ventajas y desventajas de una posible segregación de corrientes de agua residual	<b>83</b>
<b>TABLA 10 3</b> Comparación de un sistema de tratamiento en serie fisicoquímico biológico con sistema de segregación de corrientes y tratamiento biológico de las aguas residuales de tipo doméstico	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA 4.1. Distribución general del suministro de agua	21
FIGURA 4.2. Distribución actual del suministro de agua a la planta	23
FIGURA 4.3. Red de drenajes actual de la planta	26
FIGURA 4.4. Plano de segregación de las líneas de drenaje	29
FIGURA 4.4. Plano de segregación de las líneas de drenaje	36
FIGURA 4.4. Plano de segregación de las líneas de drenaje	80
FIGURA 7.1. Diagrama de bloques del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico	62
FIGURA 10.1. Distribución del suministro de agua con las condiciones de segregación	82

## RESUMEN

La Universidad Nacional Autónoma de México, a través de su Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la Facultad de Química (PIQAyQA), coadyuvo en la resolución de una problemática específica del sector industrial. En este trabajo se propone la segregación de las aguas residuales de servicio de las de proceso para su reuso en el riego de las áreas verdes y en los sistemas de enfriamiento, además de garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental en materia de descargas de agua residual. El consumo actual de agua de suministro proveniente de un pozo artesiano es de aproximadamente 160.3 metros cúbicos por día, de los cuales se gastan en riego de áreas verdes aproximadamente 76.8 metros cúbicos por día, 37.6 metros cúbicos por día en servicios y 45.9 metros cúbicos por día en áreas de proceso. Para la reutilización de las aguas residuales generadas en la planta se presenta la siguiente opción. Para hacer un reuso más eficiente del recurso se propone segregar los efluentes generados en la planta, de acuerdo a su origen y características (aguas de los servicios, que son de tipo doméstico y aguas de proceso), a través del diseño de un sistema de tratamiento biológico, que se puede instalar independiente del sistema de tratamiento de aguas residuales físicoquímico ya existente, el cual únicamente tratará las aguas residuales de proceso que se generen. Esta propuesta da como resultado una reducción del volumen de agua de suministro de 58%, ya que el agua residual proveniente de los servicios (37.6 m<sup>3</sup>/d) y que tiene las características de los efluentes de tipo doméstico se puede tratar biológicamente para poder reutilizarla en el riego de áreas verdes. El agua residual de proceso (16.9 m<sup>3</sup>/d) se puede continuar tratando en la actual planta de tratamiento físicoquímico y seguir reusando en las torres de enfriamiento y en otros usos que no requieran una calidad comparable a la del agua potable o para uso doméstico. La racionalización del uso de agua para riego, disminuyendo los tiempos de riego, permitirá ahorrar ese flujo usando solamente el agua de servicios (37.6 m<sup>3</sup>/d versus 76.8 m<sup>3</sup>/d). Finalmente, otro de los beneficios de este proyecto empresa-institución de educación superior e investigación, es el de la formación de recursos humanos altamente calificados y de la actualización del personal académico involucrado, siendo este trabajo un ejemplo de dicho beneficio.

## ABSTRACT

The National Autonomous University of Mexico, through its Program for Environmental Chemical Engineering and Chemistry of the Faculty (School) of Chemistry (PECEC), contributed to the solution of a specific problem of an automotive paintings plant to improve the operating conditions of the existing wastewater treatment plant to obtain a higher quality of its effluents for its reuse, and to guarantee the compliance of these effluents with the actual Mexican norms and laws. The PECEC personnel proposed the following strategy: The reuse of treated wastewaters, both in the process (especially in the cooling systems) and/or as watering for green areas maintenance. The present well water consumption is about 160.3 cubic metres per day, which are used for watering the green areas (76.8 cubic meters per day), cooling towers (28 cubic meters per day), process (17.9 cubic meters per day), and services (37.6 cubic meters per day). For the treatment of the plant effluents, an option was analyzed. This option contemplates the improvement of the actual treatment facilities operating conditions through the effluents segregation, according to its origin and characteristics (services and process wastewaters). The option includes the implementation of a separate biological aerobic treatment system to exclusively serve the services (domestic-type) wastewaters allowing its further use as green areas watering source (37.6 m<sup>3</sup>/d). The actual wastewaters treatment facility will be exclusively used for the process effluents, with further use as make-up water for the cooling systems (16.6 m<sup>3</sup>/d). Decreasing the watering time for green areas maintenance from 76.8 m<sup>3</sup>/d to 37.6 m<sup>3</sup>/d reducing evapotranspiration losses reduces this item. This option gives savings up to 58 percent of the supply water. Finally, as an added benefit of this university-industry project is the formation of highly qualified personnel and the actualization of the academic staff involved. Along the project duration, this goal was also fulfilled, and this thesis is the result.

# **CAPÍTULO 1**

## **PROBLEMÁTICA**

En el convenio de concertación entre la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se encuentra asentado el Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la UNAM (PIQAYQA-FQ-UNAM) y la empresa en estudio, coinciden que es de capital importancia para el país fortalecer la interrelación de las instituciones educativas y los organismos del sector productivo, tanto para transmitir los conocimientos, como para vincular a las entidades académicas con las necesidades y métodos de trabajo del campo profesional, así como formar recursos humanos de alto nivel en los campos de la Química e Ingeniería Química Ambientales.

En el marco del convenio suscrito, se planteó un programa de trabajo entre el PIQAYQA y la empresa en estudio. Este involucra la realización de un proyecto específico sobre la definición de alguna propuesta para el manejo, tratamiento, reuso y disposición de sus aguas residuales

### **1.1. Giro industrial de la empresa en estudio**

Los productos químicos que produce la empresa en estudio, se elaboran en las siguientes plantas:

- ◆ Planta de pinturas
  - Esmaltes acrílicos y alquídicos
  - Lacas acrílicas y transparentes
  - Esmaltes de poliuretano y epóxicos

- **Primarios acrílicos y alquídicos**
  - **Pinturas vinílicas**
  - **“Thinners” (adelgazadores)**
  - **Resinas acrílicas, alquídicas y poliésteres**
  - **Especialidades químicas (catalizadores para pinturas, “plastres” de nitrocelulosa, pastas para pulir, teflón líquido)**
- **Planta de plásticos**
    - **Resina acetálica con carga de fibra de vidrio, “DELFIN”**
    - **“Nylon” grado industrial reforzado con fibra de vidrio, “ZYTEL”**

## **1.2. Problemática de la empresa**

La problemática que se tiene en la empresa en estudio es :

### **1. El costo por concepto de suministro de agua**

La extracción aproximada de agua (de pozo), de acuerdo con el personal de la planta era de 144 m<sup>3</sup>/día. Si se toma en cuenta que el costo del metro cúbico de agua está cercano a los \$6.00 y que está subiendo bimestre a bimestre, el pago por el total de agua extraída al día va aumentando en forma proporcional

### **2. Se desconoce el tiempo de vida del manto acuifero**

Esto implica que debe ahorrarse el recurso, ya que al no haber un ecosistema integrado que garantice el reaprovisionamiento del manto acuifero (por la pavimentación y urbanización de



- a) Se desarrollan algas, bacterias y otros organismos en las superficies de los sistemas de enfriamiento por la presencia de la materia orgánica no eliminada
- b) Se presenta incrustación en los equipos por la presencia de sales disueltas que se precipitan por diferentes razones
- c) Se genera mal olor por procesos de anaerobiosis *in situ*.

En los siguientes capítulos se presenta un panorama general sobre la situación actual en materia de agua en nuestro país, los objetivos y metas establecidos en este estudio, la estrategia planeada para coadyuvar a la resolución de la problemática planteada, los resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones derivados de ellos.

## CAPÍTULO 2

### SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO EN MATERIA DE AGUA

Uno de los objetivos generales de la política hidráulica dentro del Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 es inducir patrones de utilización del agua más eficiente en riego, uso doméstico, uso industrial, a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futuras del recurso

A través del programa de uso del agua en la industria, generación de energía eléctrica, acuicultura y pesca se plantea la estrategia de promover el reuso de aguas residuales tratadas para reducir los volúmenes de extracción de agua, especialmente cuando provenga de acuíferos sobreexplotados

La población de la República Mexicana ha mostrado una fuerte inclinación a concentrarse en las grandes ciudades. Se estima, que en 1995, el total nacional de la población era de 91.6 millones de habitantes. De esa población, el 71 % se concentraba en las áreas urbanas (22% en el valle de México) y el 29% habitaba en 153,813 localidades rurales

Las localidades que concentran la mayor proporción de habitantes son aquellas en las que se concentra también la mayor parte de las actividades industriales de la nación y las que disponen de una mayor cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado, constituyéndose así en las fuentes principales de generación de aguas residuales

#### Usos del agua

Los usos del agua se dividen en consuntivos y no consuntivos. Los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta; los no consuntivos,

retoran la totalidad del agua aprovechada (como por ejemplo el uso en generación hidroeléctrica), aunque no con la calidad original (DOF,1996)

En 1995, la extracción total para los principales usos fue de 186,700 m<sup>3</sup>, de los cuales 73,500 m<sup>3</sup> se destinaron para usos consuntivos, distribuidos de la siguiente manera: agrícola 61,200 m<sup>3</sup>, doméstico 8,500 m<sup>3</sup>, industrial 2,500 m<sup>3</sup>, acuacultura intensiva 1,300 m<sup>3</sup>, y los restantes 113,200 m<sup>3</sup> se destinaron para la generación de energía hidroeléctrica, clasificada como no consuntiva (DOF,1996)

## **2.1 Uso doméstico**

En este rubro se incluye el agua distribuida a través de las redes municipales a hogares, comercios, industrias y a los servicios propios del municipio

Se considera que la extracción total de agua para este uso es de 270 m<sup>3</sup>/s. Existe capacidad instalada para desinfectar el 95% del agua que se suministra a la población y reciben un proceso de potabilización aproximadamente 70 m<sup>3</sup>/s de ese total (DOF,1996).

Se generan 231 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales y sólo se recolectan en el alcantarillado 174 m<sup>3</sup>/s. Se cuenta con infraestructura para tratar 43 m<sup>3</sup>/s; sin embargo, sólo se tratan adecuadamente 17 m<sup>3</sup>/s por lo que se descargan al medio ambiente sin tratar 214 m<sup>3</sup>/s, en forma conservadora (DOF,1996)

La falta de alcantarillado o letrinas para disposición de excretas incrementa los riesgos de brotes de cólera, que han ido en aumento a partir de 1994

Se considera que la población del país genera 1 80 millones de toneladas de material biodegradable medido como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), parámetro representativo de la contaminación orgánica. De estas, 0.58 millones de toneladas no se recolectan por sistemas convencionales y 1.22 millones de toneladas se recolectan mediante los sistemas de alcantarillado. Únicamente 0.15 millones de toneladas de DBO son tratadas adecuadamente antes de ser descargadas al medio natural (DOF, 1996).

Se estima que para el año 2000, la demanda total de agua potable será de 299 m<sup>3</sup>/s y se generarán 244 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales con 1.95 millones de toneladas al año de DBO, de las cuales se captarán en el alcantarillado 220 m<sup>3</sup>/s, con 1.49 millones de toneladas al año de DBO.

## **2.2 Uso agrícola**

La agricultura en México, se practica en una superficie de aproximadamente 20 millones de hectáreas, de las cuales 6.2 son de riego y el resto de temporal y tecnificado.

En 1994, se extrajeron 61,200 m<sup>3</sup> de agua para este uso. De estos, 41,100 m<sup>3</sup> provinieron de fuentes superficiales y 20,100 m<sup>3</sup> de aguas subterráneas. Se estima que realmente solo se utilizan 40,000 m<sup>3</sup>/año en riego y el resto se pierde en las conducciones y en evaporación. Del volumen señalado retoman 12,000 m<sup>3</sup>/año a las propias fuentes. Este volumen contiene residuos de fertilizantes y plaguicidas que favorecen la proliferación de malezas acuáticas o que intoxican las fuentes receptoras.

Evidentemente, las aguas de retorno agrícola constituyen una fuente de contaminación importante, cuyo impacto se ha manifestado ampliamente en el país, sobre todo en un elevado porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutrofización por la presencia de fertilizantes y otros compuestos orgánicos arrastrados. Por otro lado, se tiene

también la presencia en algunas zonas de problemas de salinización y de presencia de plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas) arrastrados por las aguas de riego y por el “lavado” de las corrientes pluviales.

En el 92% de la superficie bajo riego se utiliza el método de gravedad y, en muchos casos, se utilizan métodos de inundación sin control, que propician baja eficiencia de uso y desperdicio del agua. En 1994 la eficiencia media de conducción en los distritos de riego fue de 64% y la eficiencia de aplicación parcelaria fue de 70% lo que da como resultado una eficiencia global de 45% (DOF, 1996).

Si se considera la tendencia de los últimos años, se estima que para el año 2000 se incorporarán al riego 104 mil hectáreas que incrementarán de demanda de agua en 2,000 m<sup>3</sup>/año. Un escenario para fortalecer al país en la producción de alimentos, implicaría crecer con una tasa de 1.77% anual, para incorporar al riego 560 mil hectáreas. En este caso se incrementaría la demanda de agua al año 2000 en 7,000 m<sup>3</sup>/s, con patrones de consumo de agua semejantes a los actuales. La superficie y la demanda de agua pueden ser menores si se recurre a otras prácticas de riego, como el riego por goteo (DOF, 1996).

### **2.3. Uso industrial**

Este uso se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores. No incluye termoelectricas ni industrias que se abastecen de las redes de agua potable y vierten sus desechos en las redes de alcantarillado municipales o en los cuerpos receptores directamente.

En 1994 el volumen suministrado a la industria fuera de zonas urbanas fue de 78.7 m<sup>3</sup>/s aproximadamente. Este volumen corresponde a 1,387 empresas consideradas como las más

importantes por el uso y descarga de agua. El 75% del suministro para este uso proviene del agua subterránea y el 25% restante de fuentes superficiales. El 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción en distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso.

Según información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 58% se clasifica como contaminada y el 21% como fuertemente contaminada (DOF, 1996).

En 1994, el volumen de descargas generado por este uso fue de aproximadamente 64.5 m<sup>3</sup>/s, con 1.6 millones de toneladas de DBO al año, equivalente a la contaminación generada por 668 millones de habitantes. El caudal tratado de aguas residuales es de 5.3 m<sup>3</sup>/s, lo que representa solo el 8% de lo generado, con una remoción estimada de 0.12 millones de toneladas de DBO. El caudal sin tratar es de 59.2 m<sup>3</sup>/s, con 1.28 millones de toneladas al año de DBO.

Se considera que la demanda de agua al año 2000 será de 82 m<sup>3</sup>/s, mientras que la descarga de aguas residuales será de 66 m<sup>3</sup>/s.

#### **2.4. Uso para generación de energía eléctrica**

En 1994, las centrales termoeléctricas generaron el 80% de la energía producida en el país y las hidroeléctricas el 20%. Las termoeléctricas y las hidroeléctricas utilizaron 113,200 m<sup>3</sup> de agua.

En las termoeléctricas se consume agua debido a la evaporación que se genera en el enfriamiento. En algunas centrales se utilizan sistemas cerrados para recircular el agua y disminuir el consumo del recurso. En estos sistemas se generan concentraciones de sales, lo que

representa un riesgo de contaminación cuando se efectúan las purgas de los equipos. El incremento de la temperatura del agua utilizada en estas centrales es otro problema que afecta los ecosistemas acuáticos y de los suelos

Se estima que para el año 2000 la demanda de agua será de 142,000 m<sup>3</sup>/año para hidroelectricidad, y de 2,890 m<sup>3</sup>/año para el enfriamiento en termoelectricas (DOF,1996)

### **2.5 Uso en acuicultura y pesca**

En México existe una superficie en cuerpos de aguas nacionales de 3.8 millones de hectáreas, de las cuales 2.9 corresponden a agua salada en litorales y 0.9 a agua dulce. En agua salada/salobre el área potencial para el cultivo del camarón y 106 millones para otras especies. El potencial del agua dulce es de 900 mil hectáreas y se utilizan 754 mil hectáreas con alcances muy limitados. La acuicultura se practica en dos modalidades: intensiva, y semi-intensiva (de repoblamiento y rural).

El potencial acuícola se ha reducido por la contaminación en diferentes cuerpos de agua dulce y salada, ocasionada por la contaminación que producen la industria, la agricultura y las actividades urbanas.

Con base en proyecciones de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), se preve para el año 2000 que la producción total de la pesca creciera con una tasa anual de 2.7%, lo que demandará la necesidad de contar con mayores superficies de cuerpos de agua salobre y salada y mayores extracciones de agua para la acuicultura intensiva, del orden de 47.6 m<sup>3</sup>/s (DOF,1996).

## **2.6 Uso para recreación y turismo**

El país cuenta para este rubro con 137 lagunas costeras que suman 1,250,000 hectáreas, con cuerpos de agua dulce (lagos, lagunas y embalses) que suman 2,900,000 hectáreas, y con numerosos ríos, arroyos y cascadas que constituyen un gran potencial de recursos para fines recreativos y turísticos. Existen aproximadamente 850 sitios asociados a cuerpos de agua, con alto potencial para turismo y recreación, en los cuales es conveniente anticiparse a los procesos de contaminación que puedan surgir por falta de vigilancia y control.

La conservación de los cuerpos de agua se fortalece a través del concepto denominado ecoturismo, el cual incluye la conservación de áreas específicas de los ecosistemas como son los cuerpos de agua y norma el desarrollo de actividades de recreación y turismo sin sobreexplotar los recursos naturales (DOF,1996)

## **2.7. Uso para la navegación**

Es importante considerar este uso, aunque sea limitado, ya que puede afectar la calidad del agua y por ende a otros usos como la recreación, el turismo y la pesca. Se debe impulsar el uso de la navegación, por su contribución al transporte, al comercio y a la recreación, y por otra parte, cuidar que esta actividad no limite a los demás usos.

La navegación afecta la calidad del agua de los ríos y estuarios por las descargas de residuos líquidos y sólidos, originados por fugas y por accidentes en la navegación y embarcaderos. Aún en la operación normal, las pequeñas embarcaciones y motocicletas acuáticas que usan motores de dos tiempos, arrojan grasas y aceites al agua.

Se estima que el crecimiento de esta actividad en los diversos embalses se mantendrán al ritmo actual y sólo tendrá un ligero crecimiento en los puertos y estuarios

### **2.8 Uso por el medio natural**

Al considerar al medio natural como usuario del agua se reconoce el papel que desempeñan los cuerpos de agua y humedales como sosten de los ecosistemas

La protección del medio natural implica considerar no sólo la calidad intrínseca del agua, sino también la morfología y los intercambios de agua entre los cuerpos de agua superficiales, los humedales y el agua del subsuelo

Los efluentes líquidos son eliminados mediante su vertimiento a aguas superficiales, tanto directamente como a terrenos que drenen a las mismas, por descarga en aguas subterráneas, de forma directa mediante inyección en pozos profundos o indirecta por percolación, o por evaporación a la atmósfera. Cualquiera que sea la forma de eliminación utilizada, los efluentes deben tratarse previamente hasta por lo menos, un nivel equivalente al del tratamiento secundario de manera que se cumpla con la legislación vigente

El uso eficiente y reuso del agua tiene cada vez más importancia toda vez que, por diversas razones que tienen que ver con la problemática ambiental del planeta, no se está reciclando ni recuperando naturalmente

La contaminación de origen antropogénica, ya sea de los mantos acuíferos o fuentes de agua superficial, por aguas residuales provenientes de ciudades y actividades agroindustriales, industriales y acuícolas, contribuyen de manera importante al desequilibrio ambiental ya

## **2.6 Uso para recreación y turismo**

El país cuenta para este rubro con 137 lagunas costeras que suman 1,250,000 hectáreas; con cuerpos de agua dulce (lagos, lagunas y embalses) que suman 2,900,000 hectáreas; y con numerosos ríos, arroyos y cascadas que constituyen un gran potencial de recursos para fines recreativos y turísticos. Existen aproximadamente 850 sitios asociados a cuerpos de agua, con alto potencial para turismo y recreación, en los cuales es conveniente anticiparse a los procesos de contaminación que puedan surgir por falta de vigilancia y control.

La conservación de los cuerpos de agua se fortalece a través del concepto denominado ecoturismo, el cual incluye la conservación de áreas específicas de los ecosistemas como son los cuerpos de agua y norma el desarrollo de actividades de recreación y turismo sin sobreexplotar los recursos naturales (DOF, 1996)

## **2.7. Uso para la navegación**

Es importante considerar este uso, aunque sea limitado, ya que puede afectar la calidad del agua y por ende a otros usos como la recreación, el turismo y la pesca. Se debe impulsar el uso de la navegación, por su contribución al transporte, al comercio y a la recreación, y por otra parte, cuidar que esta actividad no limite a los demás usos.

La navegación afecta la calidad del agua de los ríos y estuarios por las descargas de residuos líquidos y sólidos, originados por fugas y por accidentes en la navegación y embarcaderos. Aún en la operación normal, las pequeñas embarcaciones y motocicletas acuáticas que usan motores de dos tiempos, arrojan grasas y aceites al agua

Se estima que el crecimiento de esta actividad en los diversos embalses se mantendrán al ritmo actual y sólo tendrá un ligero crecimiento en los puertos y estuarios

## **2.8 Uso por el medio natural**

Al considerar al medio natural como usuario del agua se reconoce el papel que desempeñan los cuerpos de agua y humedales como sosten de los ecosistemas

La protección del medio natural implica considerar no sólo la calidad intrínseca del agua, sino también la morfología y los intercambios de agua entre los cuerpos de agua superficiales, los humedales y el agua del subsuelo.

Los efluentes líquidos son eliminados mediante su vertimiento a aguas superficiales, tanto directamente como a terrenos que drenen a las mismas, por descarga en aguas subterráneas, de forma directa mediante inyección en pozos profundos o indirecta por percolación, o por evaporación a la atmósfera. Cualquiera que sea la forma de eliminación utilizada, los efluentes deben tratarse previamente hasta por lo menos, un nivel equivalente al del tratamiento secundario de manera que se cumpla con la legislación vigente.

El uso eficiente y reuso del agua tiene cada vez más importancia toda vez que, por diversas razones que tienen que ver con la problemática ambiental del planeta, no se está reciclando ni recuperando naturalmente.

La contaminación de origen antropogénica, ya sea de los mantos acuíferos o fuentes de agua superficial, por aguas residuales provenientes de ciudades y actividades agroindustriales, industriales y acuícolas, contribuyen de manera importante al desequilibrio ambiental ya

existente. La razón fundamental es que los cuerpos receptores no tienen el tiempo necesario para que ocurran los procesos de degradación natural y amortiguamiento de contaminantes y, de esta forma, se inicia un ciclo que comienza con la extracción o abastecimiento de aguas contaminadas que requieren de tratamientos avanzados para ser potables, descargas sin tratamiento a las fuentes de abastecimiento y otra vez a la extracción de agua con mayores deficiencias de calidad y cantidad

Lo anterior, tendría poca importancia si sólo fuese un problema de índole técnico. Sin embargo, esta problemática tiene incidencia directa en los indicadores de salud pública y bienestar de la sociedad en conjunto. Se ha documentado que, a pesar de haberse logrado disminuir las tasas de enfermedades infecto-contagiosas a nivel global en el mundo, también se ha observado un aumento en términos absolutos de las enfermedades de transmisión hídrica y esto no sólo ocurre en países en vías de desarrollo, sino que también se aprecia el fenómeno en países desarrollados, aunque claro, no en los términos tan alarmantes como en los primeros (Noyola, 1995)

Si bien es cierto que la industria en general produce una gran cantidad de compuestos de utilidad, también produce una gran cantidad de desechos en fase líquida, generalmente disueltos en agua u otro disolvente, como son sales inorgánicas, ácidos, álcalis, materia orgánica, metales pesados, sustancias coloridas, petróleo crudo y sus derivados, provenientes de la industria petroquímica, así como subproductos secundarios y aun materias primas que no reaccionaron. Todos ellos representan problemas serios para su disposición final ya que, en su mayoría, no son biodegradables o lo son a tiempos muy largos.

Lo más importante de estas descargas de desechos líquidos industriales es, no solamente la cantidad en que son producidos sino la diversidad de contaminantes generados que los acompañan, dependiendo del proceso. En la industria, la cantidad de desechos líquidos

producidos depende de dos factores: la cantidad de agua necesaria para producir una unidad de producto vendible y la cantidad de agua que queda integrada al propio producto. Industrias con usos de agua consuntivos generan más cantidades de desechos líquidos acuosos. Por lo que actualmente resulta imperativo el reuso de agua en este tipo de industrias.

## **CAPÍTULO 3**

### **OBJETIVOS Y METAS**

Para ubicar el propósito de este trabajo, que forma parte de un proyecto global realizado por varios estudiantes e investigadores, a continuación se presentan los objetivos y metas que sirvieron como fuerza impulsora para realizarlo. Es importante mencionar que para la mejor comprensión de este trabajo se recomienda leer previamente el trabajo realizado por Sánchez (1997)

#### **1. OBJETIVOS**

El proyecto global tenía como objetivos generales los establecidos en un trabajo previo (Sánchez, 1997) y, de ellos, se derivaron los de este trabajo, que son:

- Ofrecer opciones para obtener una mejor calidad de agua en el sistema de tratamiento de aguas existente en la planta en estudio
  
- Estudiar la opción de segregación de las corrientes de aguas residuales incompatibles del sistema actual de drenajes de la planta y proponer un sistema de tratamiento para los efluentes ya segregados
  
- Dar una estrategia que permita a la empresa asegurar el cumplimiento de los límites establecidos en la normatividad ambiental mexicana para descargas de aguas residuales
  
- Evaluar económicamente el sistema de tratamiento propuesto

Asimismo, para alcanzar estos objetivos, se trazaron las siguientes

## **2. METAS**

- **Identificar las conexiones entre las líneas de drenaje sanitario, de proceso y pluvial**
- **Realizar una eficiente caracterización de las corrientes de aguas residuales**
- **Identificar los puntos viables para la reutilización del agua tratada**
- **Definir el o los procesos de tratamiento biológico o químico para las aguas residuales de la planta**
- **Realizar una cotización comercial del sistema de tratamiento propuesto**

## CAPÍTULO 4

### TRABAJO EN CAMPO

Existen dos elementos básicos para desarrollar un plan de trabajo que contribuya al logro de los objetivos deseados: definir las características físicas del sistema de drenaje de la planta y desarrollar un perfil individual de las corrientes de agua residual

Un programa de trabajo responde siempre a una necesidad específica, ya sea la determinación cualitativa o cuantitativa de una descarga o grupo de ellas, o bien el control de un proceso de tratamiento de aguas residuales. Debe tenerse en cuenta que cada planta industrial es diferente, por lo que el programa de trabajo varía de una a otra. Sin embargo, la premisa básica es el conocimiento pleno de las características más importantes de la instalación generadora, como por ejemplo:

- ⇒ Características de la instalación
- ⇒ Disposición de la red de drenaje
- ⇒ Actividades principales y servicios auxiliares: calderas, torres de enfriamiento etc.
- ⇒ Número y tipo de las instalaciones sanitarias
- ⇒ Detalles del servicio de cafetería: preparación de alimentos, lavado de materiales, etc

La información obtenida es esencial para determinar la posibilidad de una segregación de corrientes, reuso y para el diseño de los sistemas de tratamiento.

A continuación se mencionan las actividades realizadas para conocer las características necesarias de las instalaciones generadas de las aguas residuales (Sanchez, 1997)

#### **4.1. Conocimiento del sistema de suministro de agua a la planta**

Esta actividad se llevo a cabo con la ayuda de planos de la red de suministro de agua de la planta y entrevistas que permitieron determinar las características de los procesos y/o servicios que utilizan dicho recurso

##### **4.1.1. Distribución de los usos del agua en la planta**

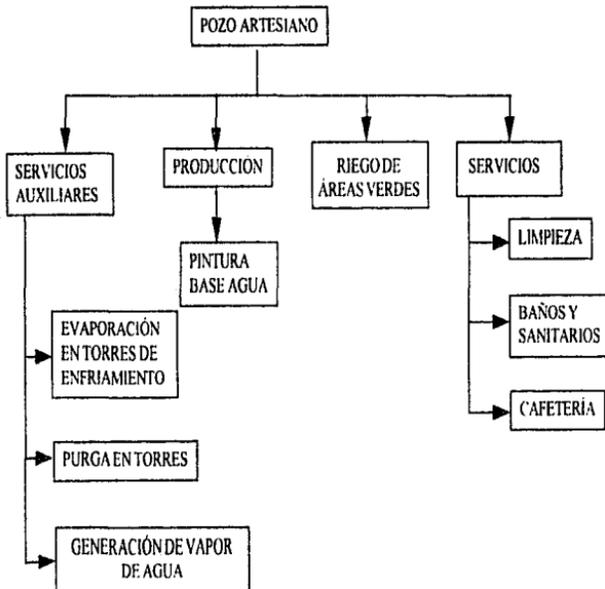
Con los datos obtenidos en esta actividad se pudo elaborar un diagrama de bloques que contiene la información sobre las áreas que utilizan el agua en la planta, además de conocer de una manera general el destino de las aguas residuales generadas. En la figura 4.1 se observan los resultados obtenidos en esta actividad. Además, se constató que existe un sistema de drenaje combinado en la planta

##### **4.1.2. Volumen total del suministro de agua a la planta**

La cuantificación del suministro de agua, junto con la identificación de los usos del recurso (actividad anterior) contribuyen a la elaboración de un balance hidráulico ya que se obtiene un registro del consumo de agua, el cual constituye la diferencia de la cantidad de agua de suministro y el agua residual de descarga, dicho consumo de agua se refiere al volumen de pérdidas de agua por evaporación, transpiración u otra forma de consumo de agua.

A continuación en la figura 4.1, se indican las áreas donde se estimó el flujo de agua de suministro para el funcionamiento de la planta.

Fig. 4.1. Distribución general del suministro de agua



**1. Riego de áreas verdes**

**2. Agua para servicios**

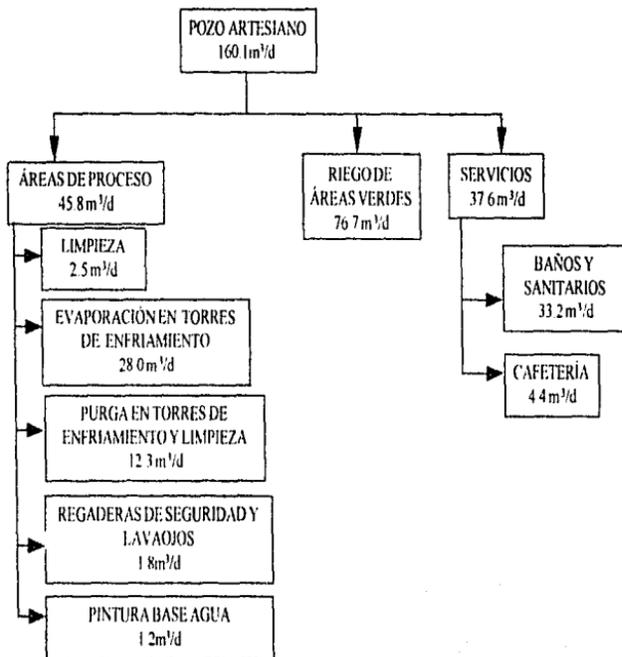
- a) Regaderas para baño personal
- b) WCs, lavabos y mingitorios
- c) Cafeteria

**3. Áreas de proceso**

- a) Pérdidas por evaporación en sistemas de enfriamiento
- b) Regaderas de seguridad y lavajos
- c) Purgas de las torres de enfriamiento
- d) Limpieza
- e) Para pintura base agua

En la tabla 4.1 se presenta un resumen del uso del agua dentro de la planta, los flujos de agua que se presentan son parte del balance hidráulico, ya que se considera el agua suministrada a servicios (baños, sanitarios, lavabos, limpieza de pisos y cafeteria), seguridad (regaderas y lavajos) y proceso (purgas, como parte del producto) y son representados en la figura 4.2.

Fig. 4.2. Distribución actual del suministro de agua a la planta  
(Sánchez, 1997)



**TABLA 4.1. FLUJO TOTAL ESTIMADO DEL SUMINISTRO DE AGUA A LA PLANTA**  
(Sanchez, 1997)

AREA	FLUJO INDIVIDUAL (L/d)	PORCENTAJE INDIVIDUAL (%)	FLUJO TOTAL (L/d)	PORCENTAJE GENERAL (%)
1. Riego de áreas verdes	76.732.80	47.89	76.732.80	47.89
2. Agua para servicios			37.636.10	23.51
a) Regaderas para baño personal	21,028.80	13.13		
b) WCs, lavabos y mingitorios	12,207.30	7.63		
c) Cafeteria	4,400.00	2.75		
3. Areas de proceso			45,830.97	28.61
a) Pérdidas por evaporación en sistemas de enfriamiento	28,000	17.47		
b) Regaderas de seguridad y lavajos en distintos puntos de la planta	1,821.5	1.13		
c) Purgas de las torres de enfriamiento	12,270	7.66		
d) Limpieza	2,501	1.56		
e) Para pintura base agua	1,238.47	0.78		
<b>TOTAL</b>	<b>160,199.87</b>	<b>100.00</b>	<b>160,199.87</b>	<b>100.00</b>

#### 4.2 Levantamiento de la red de drenajes

La planta cuenta con un sistema de drenaje combinado, el cual recolecta el agua utilizada, tanto en servicios sanitarios como en el proceso y, en época de lluvia, el agua pluvial. Las aguas residuales pueden ser enviadas a una planta de tratamiento fisicoquímico existente o pueden ser descargadas al drenaje municipal.

##### 4.2.1. Reconocimiento de la red de drenajes

El agua residual generada, cuyas características son similares a las de tipo doméstico, es aquella que originalmente se utiliza para el aseo personal, sanitarios, lavabos, en cafetería (lavado de loza, verduras, etc.) La caracterización de las aguas residuales de tipo doméstico involucra un análisis de la composición y el flujo de las mismas.

Por su parte, el volumen de agua residual generada en las áreas de proceso es básicamente por la limpieza y como subproducto de los procesos que se llevan a cabo en la planta

Se identificaron los registros de drenaje y fosas de recolección que sirvieran como puntos estratégicos, para conocer la distribución y ubicación de las descargas principales que posee la planta

#### **4.2.2. Recolección del agua residual en las diferentes fosas**

Se localizaron los puntos específicos donde descargan las aguas residuales de cada una de las áreas de la planta, los cuales fueron identificados como fosas de recolección de agua residual: fosa 1, fosa 2, fosa 3 y fosa 4

Se puede obtener el flujo que se descarga en cada fosa de recolección con base en el conocimiento de la ubicación de las instalaciones que utilizan el recurso. En la tabla 4.2 se mencionan las áreas que contribuyen al volumen de agua residual de servicios (agua residual de tipo doméstico) y en la tabla 4.3 se indican las áreas que contribuyen a las descargas de agua residual de proceso. La figura 4.3 presenta un diagrama de bloques que indica, de manera general, el lugar donde se originan las aguas residuales y el destino del agua residual actualmente utilizada en las principales áreas.

No se midieron ni estimaron los flujos de la torre de enfriamiento de plásticos, de la fosa de proceso de plásticos los cuales descargan al drenaje municipal; ni la fosa de control de derrames, se menciona por parte de la empresa que cuando existen derrames se tratan "in situ" en la propia fosa y se envían a disposición controlada en tambores.

**TABLA 4.2. FLUJO Y DESTINO FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE SERVICIOS**

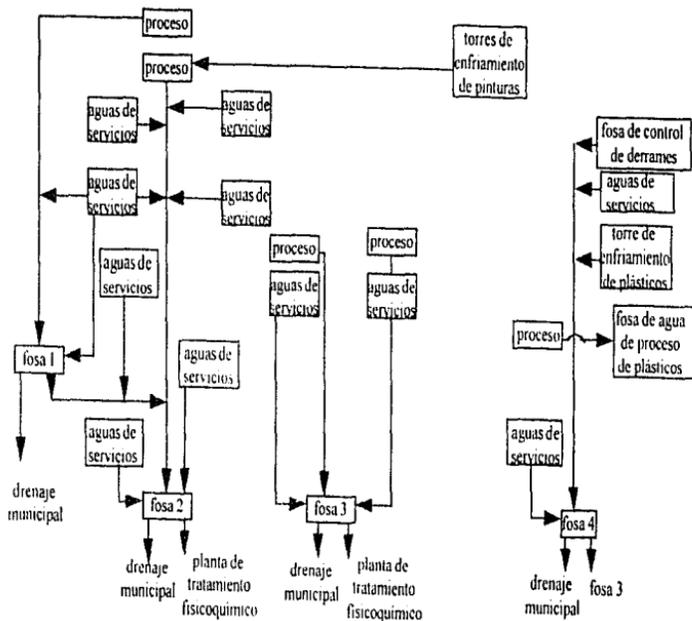
SERVICIO	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)	DESTINO
Cafeteria	4 4080	Fosa 1
Baños v sanitarios pinturas (personal sindicalizado)	13 0962	Fosa 2
Baños v sanitarios limpieza v cafeteria	2 9313	Fosa 2
Sanitarios oficinas generales	0 3990	Fosa 2
Sanitarios de molinos de bolas v arena (intermedios)	0 1224	Fosa 2
Sanitario B.M.P	0 1224	Fosa 2
Baños v sanitarios de laboratorio de pinturas	0 9616	Fosa 2
Sanitarios oficinas de mantenimiento	0 2184	Fosa 2
Baños v sanitarios mantenimiento (personal sindicalizado)	3 767	Fosa 2
Baños v sanitarios para vigilancia	1 0476	Fosa 2
Baños v sanitarios para supervisores	1 0735	Fosa 2
Sanitario del consultorio	0 2340	Fosa 2
Laboratorio de "Refinish"	0 1029	Fosa 3
Baños v sanitarios caldera	0 3195	Fosa 3
Sanitarios de instrumentacion	0 1630	Fosa 3
Sanitarios de costos	0 088	Fosa 3
Baños v sanitarios (intermedios v "Refinish" personal sindicalizado)	4 5400	Fosa 3
Sanitario oficina del dibujante	0 1506	Fosa 3
Sanitario de compras	0 2810	Fosa 3
Sanitarios oficinas plasticos	0 1407	Fosa 4
Baños v sanitarios plasticos (personal sindicalizado)	1 9734	Fosa 4
Sanitario de ventas	0 2205	Fosa 4
Baños v sanitarios de bodega de producto terminado	1 5240	Fosa 4
Sanitario recursos humanos	0 1974	Al drenaje municipal
Sanitario de transportistas	no se determino	idem
<b>T O T A L</b>	<b>37.6344</b>	

#### 4.2.3 Modificación de las líneas de drenaje

A través de recorridos se identificaron las líneas de drenaje y sus conexiones por lo que se pudo establecer que es posible modificar algunos puntos de las líneas de drenaje para separar las aguas residuales de tipo doméstico de las aguas residuales de proceso, por medio de obra civil. En la figura 4.4 se indican los puntos donde es necesario llevar a cabo las modificaciones en las líneas de drenaje para lograr la segregación de las aguas residuales generadas en la planta. La línea punteada representa la tubería que se requiere instalar, la línea continua representa la tubería ya instalada.

Fig. 4.3. Red de drenajes actual de la planta

(Existe infiltración de agua de lluvia en todos los drenajes)



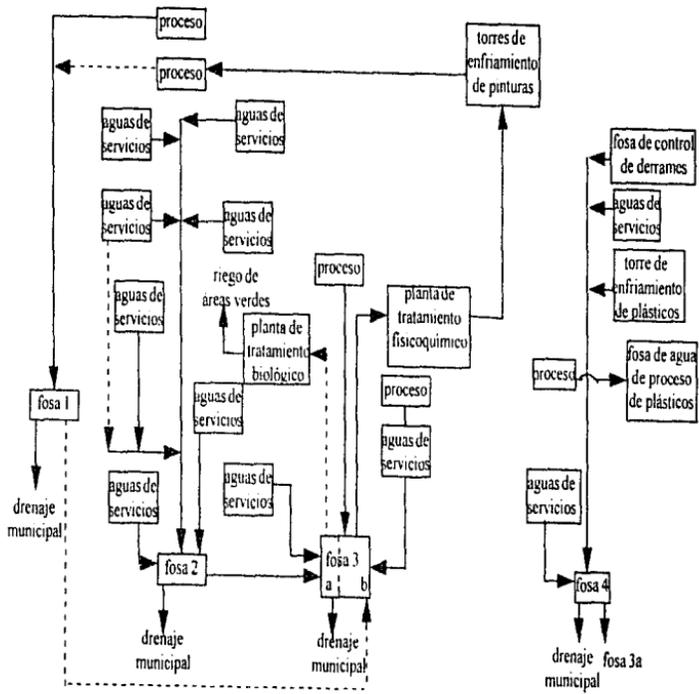
**TABLA 4.3. FLUJO Y DESTINO DEL AGUA UTILIZADA EN ÁREAS DE PROCESO**

AREA	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)	DESTINO
Línea 7	0.1200	Fosa 4
Envasado de "thinner"	0.0000	
Reactores	1.000	Fosa de sedimentación
*Tejavan de bombas de solventes	0.120	-
Molinos de bolas	ver fosa de sedimentación	Tambores
Calentadores de aceite	0.120	-
Tanques de mezcla y envasado	ver fosa de sedimentación	Tambores
Reactor piloto	0.120	-
Cuarto de lavado de laminas	0.011	Tambores
Torres de enfriamiento de agua (área de pinturas)	28.000	Atmósfera
Purgas de torres de enfriamiento área de pinturas	5.000	Fosa 1
Envasado	0.120	Fosa 2
Mantenimiento	0.120	Fosa 2
Rampas de descarga de materia prima	0.120	Fosa 2
Bodega de materia prima	0.120	Fosa 2
Molinos de arena	0.120	Fosa 2
Cuarto de lavado de mascarillas	0.210	Tambores
"E-COAT"	0.512	Fosa 3
Fosa de sedimentación	0.200	Fosa 3
Caldera	6.758	Fosa 3
"Refinish"	Ver fosa de sedimentación	Tambores y Fosa 3
Plásticos	No se conoce	Fosa de sedimentación en el área de plásticos
Repáderas de seguridad y lavaojos	1.822	RFP= Fosa 1
Pintura base agua	1.238	Producto
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>45.83</b>	

\* Tejavan: locucion adverbial de la palabra teja vana que significa cobertizo o tejadillo

Fig. 4.4. Plano de segregación de las líneas de drenajes

(Existe infiltración de agua de lluvia en todos los drenajes)



## **CAPÍTULO 5**

### **CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS**

Las características del agua residual son muy importantes para una buena elección y diseño de un proceso de tratamiento, puesto que indican los aspectos cualitativo y cuantitativo de los contaminantes presentes en el agua. La caracterización de un agua residual consiste en determinar, mediante una serie de pruebas de laboratorio, la concentración de los elementos o compuestos químicos y biológicos que estén presentes en las muestras de agua residual. El número y tipo de compuestos por determinar, es función del origen de la descarga y de su sitio de disposición final, que es tomado como base para fijar las condiciones particulares de descarga. Es frecuente que en la práctica no se disponga de muestras de aguas residuales para ser caracterizadas, debido principalmente a que muchos de los sistemas de tratamiento se proyectan en forma conjunta con los centros urbanos, turísticos o industriales que las generan. En tales circunstancias, resulta de utilidad la información referente a la caracterización de descargas que se generen en sitios o instalaciones semejantes.

La relación  $DBO_5/DQO$  ayuda a determinar si las corrientes en estudio pueden ser tratadas biológica o químicamente, si la relación es menor o igual a 0.25 se dice que el agua residual es **NO BIODEGRADABLE**, por lo que se recomienda un tratamiento químico.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica biodegradable, la demanda química de oxígeno (DQO) mide la cantidad de oxígeno que se consume, al oxidar la materia orgánica e inorgánica.

La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales:

1. **Materiales orgánicos carbonicos**, utilizables como fuente de alimentación por organismos aerobios.
2. **Nitrógeno oxidable**, derivado de la presencia de nitritos, amoniaco y en general de compuestos organicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas.
3. **Compuestos quimicos reductores** (ión ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxigeno disuelto)

Otro parámetro útil es la demanda bioquímica de oxigeno soluble (DBOsoluble) la cual está formada principalmente por compuestos carbonosos en dilución

#### **5.1 Tipos de agua residual generada**

Como se menciona en el capitulo anterior, la planta tiene un sistema de drenaje que capta las descargas de agua residual de tipo domestico, de proceso y en epoca de lluvia, agua pluvial (sistema de drenaje combinado), el cual es potencialmente posible de modificar para así segregar las aguas residuales de tipo doméstico de las de proceso

La caracterización de las aguas residuales de tipo domestico no puede llevarse a cabo, debido a que se encuentran mezcladas con las aguas residuales de proceso, por lo que se toman en cuenta los valores de los contaminantes presentes en las aguas residuales de tipo doméstico reportados en la literatura

La empresa en estudio cuenta con una planta de tratamiento de tipo fisicoquimico, la cual puede utilizar como influente las aguas residuales de proceso y obtener un efluente con una calidad adecuada para poder reutilizar el agua tratada en algunas de las áreas de proceso (principalmente como agua de repuesto en las torres de enfriamiento), ya que por sus características, aun teniendo algunos residuos de compuestos toxicos que no hubieran podido

ser eliminados en el tratamiento, si estos no son fácilmente insolubilizados (para evitar el problema de incrustaciones), sirven como agentes que previenen la proliferación de algas y otros microorganismos sobre las superficies de enfriamiento de las torres.

Las aguas residuales de servicios representan un 23.51% del volumen total del agua de suministro y, además, son posibles de recuperar, sin embargo, como se mencionó anteriormente, al estar combinadas con las de proceso, no permiten llevar a cabo un análisis independiente de las aguas residuales de proceso. En este caso, se tomaron en cuenta los parámetros típicos de las aguas residuales de tipo doméstico para caracterizarlas, como una primera aproximación.

Mediante la estimación de los volúmenes de agua descargada, así como de la determinación de sus características, se busca establecer la o las estrategias de tratamiento y reúso.

## **5.2. Características de las aguas residuales de servicios (tipo doméstico)**

La composición del agua residual de tipo doméstico está formada por parámetros físicos, químicos y biológicos. En la tabla 5.1 se presentan dichos parámetros.

El intervalo de concentración y valores promedio de los contaminantes encontrados en este tipo de agua residual son indicados en la tabla 5.2, cuyos valores están en las unidades de mg/L, excepto los sólidos sedimentables los cuales tienen las unidades de mL/L, y coliformes totales que son UFC/100 mL.

**TABLA 5.1. PARÁMETROS QUE IDENTIFICAN A LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

FISICOS	QUÍMICOS	BIOLOGICOS
Sólidos	Orgánicos	Plantas
Temperatura	Proteínas	Animales
Color	Carbohidratos	Virus
Olor	Grasas y aceites	Bacterias
	Agentes tensoactivos	Protozoarios
	Inorgánicos	
	pH	
	Cloruros	
	Alcalinidad	
	Nitrógeno	
	Fósforo	
	Metales pesados	
	Gases	
	Oxígeno	
	Acido sulfúrico	
	Metano	

**TABLA 5.2. COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE SERVICIOS (Corbit, 1988)**

CONTAMINANTE	UNIDADES	INTERVALO DE CONCENTRACIÓN	VALOR PROMEDIO DE LA CONCENTRACIÓN
Sólidos totales	mg/L	350 - 1200	720
Sólidos disueltos totales	mg/L	250 - 850	500
fijos	mg/L	145 - 525	300
volátiles	mg/L	105 - 325	200
Sólidos suspendidos totales	mg/L	100 - 350	220
fijos	mg/L	20 - 75	55
volátiles	mg/L	80 - 275	165
Sólidos sedimentables	ml/L	5 - 20	10
Demanda bioquímica de oxígeno, a 5 días y 20°C (DBO <sub>5</sub> , 20°C)	mg/L	110 - 400	220
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80 - 290	160
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250 - 1000	500
Nitrógeno (como N total)	mg/L	20 - 85	40
Orgánico	mg/L	8 - 35	15
Amonio libre	mg/L	12 - 50	25
Nitritos	mg/L	0	0
Nitratos	mg/L	0	0
Fósforo (como fósforo total)	mg/L	4 - 15	8
Orgánico	mg/L	1 - 5	3
Inorgánico	mg/L	3 - 10	5
Cloruros	mg/L	30 - 100	50
Alcalinidad (como carbonato de calcio)	mg/L	50 - 200	100
Grasas y aceites	mg/L	50 - 150	100

La caracterización de las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales, deben tener en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, publicada en el Diario Oficial de la Federación. En la tabla 5.3 se indican los límites máximos permisibles indicados en la Norma Oficial Mexicana 031

**TABLA 5.3. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVIDAD PARA DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL AL ALCANTARILLADO (DOF, 1993)**

PARÁMETRO	UNIDADES	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
pH (en campo)	unidades de pH	6 A 9	6 A 9
Temperatura	°C	-	40
Sólidos sedimentables	mL/L	5	10
Grasas y aceites	mg/L	60	100
Conductividad eléctrica	micromho/cm	5,000	8,000
Aluminio	mg/L	10	20
Arsénico	mg/L	0.5	1.0
Cadmio	mg/L	0.5	1.0
Cianuros	mg/L	1.0	2.0
Cobres	mg/L	5	10
Cromo hexavalente	mg/L	0.5	1.0
Cromo total	mg/L	2.5	5
Fluoruros	mg/L	3	6
Mercurio	mg/L	0.01	0.02
Níquel	mg/L	4	8
Plata	mg/L	1.0	2.0
Plomo	mg/L	1.0	2.0
Zinc	mg/L	6	12
Fenoles	mg/L	5	10
Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	30	60

Los contaminantes que por lo general están presentes en el agua residual de tipo doméstico son compuestos orgánicos biodegradables, por lo que la DBO tendrá un valor casi igual al de la DQO y la relación DBO/DQO será mayor de 0.25 por lo que se recomienda un sistema de tratamiento biológico

## CAPÍTULO 6

### PROPUESTA DE SEGREGACIÓN DE CORRIENTES DE AGUA RESIDUAL

La separación de drenajes es la conversión de un sistema de drenaje combinado a un sistema de recolección de agua residual de tipo doméstico por un lado y, por el otro, un sistema de recolección de agua residual de proceso. Si se logra una segregación de las corrientes de proceso con respecto a las corrientes de servicios (en términos generales, agua de tipo doméstico), en el caso de la planta en estudio, solamente sería necesario un tratamiento biológico para esta última y el tratamiento fisicoquímico existente se emplearía para tratar el agua residual de proceso. Para los propósitos de una segregación se recomienda dividir la fosa 3 en dos secciones. Una de ellas captaría gran parte del agua residual de servicios y la otra sección de la fosa captaría el volumen mayor del agua residual de proceso, además de modificar algunos puntos de las líneas de drenaje y aumentar otras líneas de drenaje para lograr la segregación de las aguas residuales.

#### 6.1. Volúmenes de agua residual segregados

La separación de las aguas residuales que se propone en este trabajo es la que se describe de la tabla 6.1 a la tabla 6.7, en donde se indican los flujos que, una vez segregadas las corrientes, descargarían a las fosas de recolección. En la figura 4.4 se presentó un plano de segregación de drenajes de la planta.

En ese plano puede observarse que es posible separar las aguas residuales de los baños de casi toda la planta, así como las de la cafetería de forma relativamente simple.

Fig. 4.4. Plano de segregación de las líneas de drenajes

(Existe infiltración de agua de lluvia en todos los drenajes)

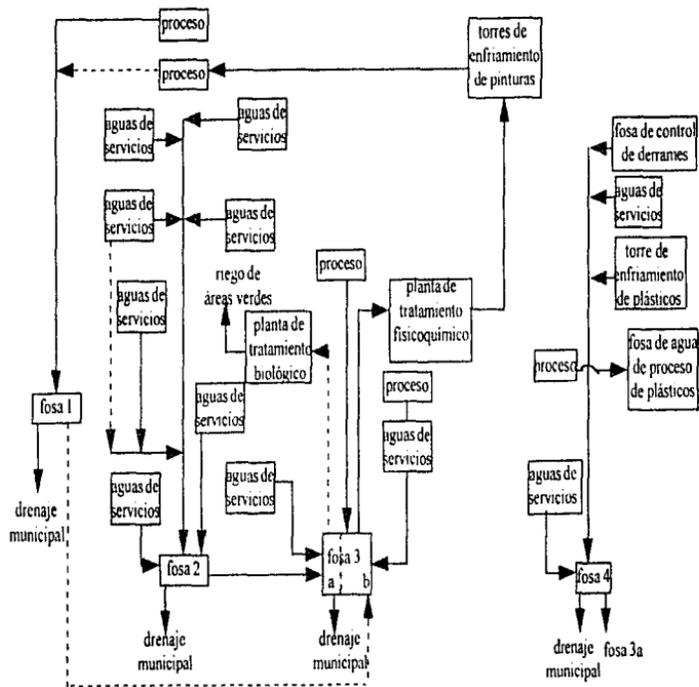


TABLA 6.1 FLUJO DEL AGUA RESIDUAL EN FOSA 1

ÁREA	TIPO DE AGUA RESIDUAL	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)
Purgas de torres de enfriamiento aires de pinturas	PROCESO	5.0000
Regaderas de seguridad y lavaderos (80%)*	PROCESO	1.4600
Línea 7	PROCESO	0.1200
Reactor piloto	PROCESO	0.1200
Envasado	PROCESO	0.1200
Baños y sanitarios de laboratorio de pinturas	SERVICIOS	0.5300
<b>TOTAL EN FOSA 1</b>		<b>7.3</b>

\* Se considera que se recolecta en la fosa numero uno el 80% del volumen total del agua utilizada en las regaderas de seguridad debido a su ubicacion

TABLA 6.2. FLUJO DEL AGUA RESIDUAL EN FOSA 2

SERVICIO	TIPO DE AGUA RESIDUAL	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)
Cafeteria	SERVICIOS	4.4000
Baños y sanitarios pinturas (personal sindicalizado)	SERVICIOS	13.0900
Baños y sanitarios limpieza y cafeteria	SERVICIOS	2.9317
Sanitarios oficinas generales	SERVICIOS	0.3990
Sanitarios de molinos de bolas y arena (intermedios)	SERVICIOS	0.1224
Sanitario B.M.P.	SERVICIOS	0.1224
Sanitarios oficinas de mantenimiento	SERVICIOS	0.2184
Baños y sanitarios mantenimiento (personal sindicalizado)	SERVICIOS	5.7677
Baños y sanitarios para vigilancia	SERVICIOS	1.0476
Baños y sanitarios para supervisores	SERVICIOS	1.0315
Sanitario del consultorio	SERVICIOS	0.2320
Rampa de descarga de materia prima	PROCESO	0.1200
Bodega de materia prima	PROCESO	0.1200
Tejador de bombas de solventes	PROCESO	0.1200
Molinos de arena	PROCESO	0.1200
<b>TOTAL EN FOSA 2</b>		<b>27.8</b>

TABLA 6.3. FLUJO DEL AGUA RESIDUAL EN PARTE DE FOSA 3

SERVICIO	TIPO DE AGUA RESIDUAL	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)
Sanitarios de instrumentacion	SERVICIOS	0.1610
Sanitarios de costos	SERVICIOS	0.0880
Baños y sanitarios de intermedios y "Refinish" (personal sindicalizado)	SERVICIOS	4.5400
Sanitario oficina del dibujante	SERVICIOS	0.1065
<b>TOTAL EN FOSA 3</b>		<b>4.8</b>

TABLA 6.4. FLUJO DEL AGUA RESIDUAL EN PARTE DE FOSA 3

AREA	TIPO DE AGUA RESIDUAL	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)
Reactores	PROCESO	1 080
Cuarto de lavado de mascarillas	PROCESO	0 210
Cuarto de lavado de laminas	PROCESO	0 011
"E-COAT"	PROCESO	0 512
Caldera	PROCESO	6 758
Tanques de mezcla y envasado	PROCESO	ver fosa de sedimentacion
Molinos de bolas	PROCESO	ver fosa de sedimentacion
"Refinish"	PROCESO	ver fosa de sedimentacion
Fosa de sedimentacion	PROCESO	0 200
Baños y sanitarios caldera	SERVICIOS	0 3195
Sanitario de compras	SERVICIOS	0 2810
<b>TOTAL EN FOSA 3</b>		<b>9,20</b>

6.5. FLUJO DEL AGUA RESIDUAL EN FOSA 4

SERVICIO	TIPO DE AGUA RESIDUAL	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)
Sanitarios oficinas plasticos	SERVICIOS	0 1407
Baños y sanitarios plasticos (personal sindicalizado)	SERVICIOS	1 9734
Sanitario de ventas	SERVICIOS	0 2505
Baños y sanitarios de bodega de producto terminado	SERVICIOS	1 5240
<b>TOTAL EN FOSA 4</b>		<b>3,9</b>

TABLA 6.6. FLUJO DEL AGUA RESIDUAL RECUPERABLE

NÚMERO DE FOSA	TIPO DE AGUA RESIDUAL	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)
1	PROCESO	7,3
2	SERVICIOS	27,8
3	SERVICIOS	4,8
3	PROCESO	9,2
4	SERVICIOS	3,9
<b>TOTAL</b>		<b>53,0</b>

**TABLA 6.7. FLUJO DEL AGUA NO RECUPERABLE**

SERVICIO	FLUJO GENERADO (m <sup>3</sup> /d)	DESTINO
Sanitario recursos humanos	0 1974	Drenaje municipal
Sanitario de transportistas	-	-
Torres de enfriamiento de agua del área de pinturas	28 161	Evaporación
Regaderas de seguridad y lavabos (20%)	0 3690	-
Área de plásticos	-	No se conoce
Área de producción	1 23847	Producto
Riego de áreas verdes	76 7328	Suelo
<b>TOTAL</b>	<b>106,53</b>	

## 6.2. Requerimientos del agua tratada para su reuso

También se deben tomar en cuenta los intervalos adecuados de los parámetros a analizar para los posibles reusos de agua tratada ya que, dependiendo del reuso que se le quiera dar, se fijan las características del efluente de las plantas de tratamiento de agua residual. Tomando en cuenta que no existe una legislación para el reuso de aguas residuales tratadas en nuestro país, en la tabla 6.8 se indican algunos criterios para sancionar la calidad fisicoquímica-biológica de las aguas tratadas propuestos por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento de Distrito Federal en 1987 (DGCOH, 1987).

Los criterios son solamente recomendaciones o sugerencias, por lo que no tienen el mismo grado de obligatoriedad que una norma. Los criterios son desarrollados solamente con base en datos y teorías, sin considerar la factibilidad técnica o económica.

Con esta información puede procederse a evaluar la opción de segregación de las aguas residuales de servicios en fosa 2, fosa 4 y parte de la fosa 3 (27.8 m<sup>3</sup>/d, 3.9 m<sup>3</sup>/d y 4.8 m<sup>3</sup>/d respectivamente) de las aguas residuales de proceso en fosa 1 y parte de la fosa 3 (7.3 m<sup>3</sup>/d y 9.20 m<sup>3</sup>/d respectivamente), desde el punto de vista de factibilidad técnica y económica. Esto se desarrollará en los próximos capítulos.

**TABLA 6.8. CRITERIOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS AGUAS TRATADAS PARA SU POSIBLE REUSO (DGCOH,1987)**

PARAMETRO	RIEGO DE AREAS VERDES
pH	6-9
Alcalinidad total	500
Conductividad eléctrica	3.000
Cloruros	500
Sólidos totales	1.500
Sólidos totales fijos	1.000
Sólidos totales volátiles	500
Sólidos disueltos totales	985
Sólidos disueltos fijos	500
Sólidos disueltos volátiles	485
Sólidos suspendidos totales	515
Sólidos suspendidos fijos	500
Sólidos suspendidos volátiles	15
Sólidos sedimentables	1
Nitrogeno amoniacal	5
Nitrogeno total	10
Nitratos	50
Fósforo total	20
Coliformes fecales	10.000
Coliformes totales	30.000
DBO soluble	20
DQO soluble	50
Sustancias activas al azul de metileno	1

Todas las unidades están dadas en mg/L, con excepción del pH, conductividad eléctrica, coliformes totales y fecales y los sólidos sedimentables que están dados en unidades de pH, micromho/cm, UFC/100mL y mL/L, respectivamente.

Para el reuso en riego de agua tratada, el criterio básico es que no debe generar riesgos a la salud por la presencia de microorganismo patógenos, por lo que, comúnmente las aguas residuales son depuradas con un tratamiento primario seguido de la desinfección o en algunos casos se lleva a cabo un tratamiento primario, secundario y por último la desinfección (James y Evison, 1979; Montgomery, 1976; Metcalf y Eddy, 1991)

## **CAPÍTULO 7**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Para la selección adecuada de un proceso de tratamiento de aguas residuales se deben tener en cuenta las metodologías, las diferentes variables involucradas en el mismo, así como conocer los procesos existentes y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

#### **7.1. Metodologías de tratamiento de aguas residuales**

Los contaminantes del agua pueden ser eliminados por operaciones físicas (involucran la interacción de fuerzas físicas tales como la gravedad, las diferencias de cargas y concentración), biológicas (involucran la actividad de microorganismos para la remoción o transformación de contaminantes en sustancias más inocuas) o químicas (se adicionan reactivos químicos o se efectúan reacciones químicas donde no intervienen microorganismos).

En general, la mayor parte de las plantas de tratamiento hacen combinación de las tres operaciones anteriores. A continuación se describen los tratamientos en los que intervienen estas operaciones. El tratamiento de agua residual es generalmente clasificado en tres niveles: primario, secundario y avanzado. Cada nivel de tratamiento elimina contaminantes específicos.

##### **7.1.1 Tratamiento preliminar/primario**

Elimina los componentes del agua residual que pueden provocar problemas operativos y de mantenimiento debido a su tamaño o volumen en el proceso de tratamiento o en los servicios auxiliares al obstruir ductos, dañar motobombas, etc.

Involucran un proceso físico que elimina los sólidos suspendidos, grasas y aceites de la corriente de agua residual. Esta remoción por lo general se lleva a cabo por sedimentación, coagulación, flotación, cribado, etc.

#### **7.1.2. Tratamiento secundario**

Elimina el material soluble que no puede ser eliminado por un proceso físico. Existen numerosas tecnologías que utilizan este tratamiento, las cuales son viables dependiendo de los constituyentes a ser eliminados. El material soluble es eliminado por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción. Naturalmente, sólo funcionan cuando los compuestos solubles a remover son biodegradables y no se encuentran presentes compuestos o materiales tóxicos que inhiban o impidan la metabolización de los compuestos biodegradables.

#### **7.1.3. Tratamiento avanzado**

Son utilizados para eliminar contaminantes específicos que no son eliminados por el tratamiento primario y el secundario. Se eliminan compuestos o sustancias como el nitrógeno y fósforo residuales (que pueden eutroficar cuerpos receptores al ser nutrientes para algas y otros organismos) y la materia disuelta no biodegradable. Algunos de los procesos empleados en un tratamiento avanzado son la coagulación química, floculación y sedimentación, antes de la filtración y de la adsorción mediante carbón activado, además de los procesos biológicos para la remoción de nutrientes (Belhatche, 1995).

#### **7.1.4. Tratamiento y disposición del lodo generado durante la depuración**

Siempre existe la generación de lodo en el tratamiento biológico y su estabilización, tratamiento y disposición deben ser considerados para obtener una buena elección del proceso de tratamiento.

Existen tres tipos de lodos: los primarios, que pueden o no estar contaminados de materia fecal y otros contaminantes considerados peligrosos; los secundarios, de origen biológico, unos generados por la digestión o tratamiento anaerobio y otros por el tratamiento aerobio y los terciarios o de origen químico. Las diferencias esenciales están en su composición, que determina los mecanismos de estabilización, tratamiento y disposición. Una planta de tratamiento típica, puede generar estos tres tipos de residuos sólidos y semisólidos, como los lodos producidos por la coagulación-floculación, arenas, sólidos voluminosos retenidos en el tratamiento preliminar, grasas y aceites, microorganismos putrescibles, etc.

## **7.2. Variables que influyen en la selección del tratamiento**

### **a) Características del agua residual**

Indica los aspectos cualitativo y cuantitativo de los contaminantes presentes en el agua.

### **b) Eficiencia del proceso**

Esta variable influye en el reuso o disposición final del agua tratada. El agua residual tratada mediante un tratamiento adecuado, puede ser usada en diversas actividades, por ejemplo, el riego de áreas verdes, lavado de autos, fuentes de ornato, descarga de sanitarios, sistemas de enfriamiento, etc.

### **c) Tratamiento o disposición de residuos o subproductos del tratamiento**

Es deseable que el desecho de un proceso sea lo suficientemente estabilizado, en el caso contrario hay que tratarlo o disponerlo en lugares adecuados que involucren un costo adicional.

### **d) Restricciones ambientales**

En un proceso biológico la temperatura afecta considerablemente, ya que todas las velocidades de reacción enzimáticas involucradas en el metabolismo de las células de las bacterias dependen

exponencialmente de la temperatura dentro de ciertos intervalos. A temperaturas bajas, la actividad es baja y a temperaturas altas la actividad es alta

**e) Área requerida**

Este rubro es importante cuando se cuenta con lugares pequeños o donde el terreno es caro.

**f) Requerimiento de personal**

Elegir procesos que requieran el mínimo de mano de obra para su operación y mantenimiento.

**g) Costos de inversión y operación**

Se debe elegir un proceso que cumpla con la calidad del agua deseada, que sea el más bajo en costo de inversión, pero sobre todo aquel que contenga el más bajo costo de operación y mantenimiento

**7.3. Procesos convencionales para la eliminación de contaminantes**

A continuación se indica una relación entre el tipo de contaminante (sólidos suspendidos y sedimentables, materia orgánica biodegradable, nutrientes, microorganismos patógenos y lodos) y los procesos que pueden ser aplicados para su remoción (solamente se mencionan los procesos más aplicados y conocidos)

**7.3.1. Remoción de sólidos suspendidos y sedimentables**

**a) Cribado y la sedimentación**

Aplicar en una fase inicial del tratamiento para la remoción de sólidos gruesos.

#### **b) Filtración**

En caso de que se requiera, utilizarla después del tratamiento secundario o avanzado, debido a que en el medio filtrante se retendrían todos los sólidos suspendidos, provocando taponamientos muy frecuentes en el filtro, parte de estos pueden ser removidos por otras operaciones más económicas.

#### **c) Precipitación química**

Consiste en la adición de reactivos con el propósito de que reaccionen con compuestos solubles específicos, para formar compuestos en forma precipitable. Se aplica para separar cadmio, plomo, mercurio, zinc, hierro(III), manganeso(IV), plata, cromo(III), níquel y cobalto del agua residual en forma de precipitados, fosfatos, calcio, magnesio, sílice y fluoruros.

#### **d) Floculación**

Es la aglomeración de partículas coloidales y suspendidas por medio de un mezclado físico o con ayuda de un coagulante químico, para formar floculos de mayor tamaño capaces de ser separados por procesos de sedimentación o filtración.

#### **e) Coagulación**

En este proceso se agregan compuestos químicos al agua residual para reducir las fuerzas de tensión que apartan los sólidos suspendidos entre sí.

#### **f) Coagulación-Floculación**

Se lleva a cabo en dos etapas, en la primera las fuerzas interpartículas son reducidas o anuladas (mezclado rápido para dispersar el coagulante), en la segunda las colisiones entre partículas favorecen los floculos grandes (mezcla lenta para promover el aumento del tamaño de los floculos). Los reactivos utilizados son iones que se hidrolizan rápidamente formando precipitados insolubles como por ejemplo el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (cal), alumbre. Se forma un floculo muy denso y

facilmente sedimentable. Existen materiales que en pequeñas concentraciones aceleran el fenómeno de la coagulación (polielectrolitos)

#### **g) Adsorción**

Es la coleccion y concentracion selectiva sobre la superficie sólida de moléculas de tipo particular contenidas en un líquido o gas. El carbon activado es el adsorbente más ampliamente utilizado, el cual se usa comúnmente para eliminar compuestos organicos que causan olores, sabores y otros efectos nocivos. Los sabores, colores y olores son debidos a compuestos tales como los fenoles, pesticidas, colorantes organicos, surfactantes

#### **h) Flotación**

Se utiliza para la remocion de grasas y aceites o material flotante, las trampas de grasas simples pueden limitar la entrada de grasas y aceites a la planta de tratamiento

### **7.3.2. Remoción de materia orgánica biodegradable**

Para la eliminación de materia orgánica biodegradable existen procesos anaerobios (no necesitan oxígeno para llevar a cabo la depuración), aerobios (requieren oxígeno para el tratamiento de las aguas residuales), acoplados (anaerobio-aerobio) y procesos acoplados. A continuación se describiran estos procesos

#### **a) Procesos anaerobios**

Cuando se tiene un valor de DBO  $>$  1000 mg L., se presentan condiciones de anaerobiosis, por lo tanto los sistemas microbianos anaerobios son mas adecuados para el tratamiento de este tipo de aguas residuales (Duran de Bazua, 1994)

Han sido clasificados en tres generaciones, en la primera se encuentran los procesos que tienen la biomasa en suspensión y con sistemas de distribución de agua residual no adaptados para lograr homogeneidad en su distribución (fosa séptica, tanque Imhoff, laguna anaerobia, digestor completamente mezclado, digestor convencional), en los de segunda generación, los microorganismos son retenidos en el reactor por medio de un soporte para que se adhieran en forma de biopelícula, o por medio de su sedimentación (filtro anaerobio, reactor de lecho de lodos), los sistemas de la tercera generación poseen los microorganismos en biopelícula, pero el soporte se expande o fluidifica con altas velocidades de flujo. En la tabla 7.1 se indican los procesos adaptados a pequeñas plantas de tratamiento.

**TABLA 7.1. PROCESOS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO**

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente	Proceso de flujo ascendente que favorece la formación con base en una cama de lodos de alta sedimentabilidad. Tiene en la parte superior un dispositivo de recolección de gas y de sedimentación. Es un sistema compacto ya que integra en un solo tanque el sedimentador-digestor de lodo-primario, el reactor biológico y el sedimentador secundario. Es sensible a flujos pico y resiste largos periodos sin alimentación. Su costo es comparativamente bajo, ya que <u>no requiere materia de soporte, ni equipo electromecánico.</u>
Filtro anaerobio	Es un reactor empacado con material de soporte para favorecer la adhesión de microorganismos. El empaque puede ser de tipo plástico o natural (piedra), con implicaciones en costo y posibilidades de taponamiento. Se opera ya sea en flujo ascendente o descendente. <u>Resiste picos de carga y periodos sin alimentación.</u>

#### b) Procesos aerobios

En la tabla 7.2 se describen 3 procesos principales ya que son considerados los más versátiles y apropiados para el tratamiento de las descargas municipales. Se recomienda par cargas menores de 1000 mg/L de DBO, ya que el costo de inversión siempre es menor que en los procesos anaerobios, desde el punto de vista funcional es preferible un tratamiento aerobio, ya que el

control del sistema aerobio es mucho más fácil, su tiempo de puesta en marcha es más corto y ofrece menos dificultad para la limpieza

TABLA 7.2. PROCESOS DE TRATAMIENTO AEROBIO

PROCESOS	DESCRIPCIÓN
Filtro percolador	La oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada, generalmente a contracorriente. Se clasifican (dependiendo de la carga orgánica e hidráulica que pueden manejar y del uso o no de recirculación) en reactores de baja tasa (1 a 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d), media tasa (4 a 10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d) y de alta tasa (10 a 40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d). En los filtros de baja tasa no se requiere de recirculación del efluente del clarificador, por ello en la configuración del sistema se omite el cárcamo de recirculación del agua, los que operan a media y alta tasa requieren de recirculación del efluente. Sus requerimientos de mantenimiento son mínimos, aunque su costo de inversión de capital es mayor que el de los sistemas floculados. Su eficiencia de remoción depende mucho de la eliminación de los microorganismos que conforman la película ya que los poros del material inerte pueden taponarse con biomasa y convertirse en el factor limitante para la transferencia de oxígeno a la biopelícula.
Lodos activados	Este sistema está formado por un reactor biológico con agitación y un separador sólido-líquido. En el tanque de aireación coexisten dos fases, el llamado licor mezclado, que es el agua a tratar y los sólidos suspendidos en el licor mezclado, que son los microorganismos activos que biooxidán la materia orgánica. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismos y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica. El costo de operación es alto debido al aire requiriendo para la oxidación.
Disco biológico rotatorio	Consisten de un empaque giratorio en el cual se encuentra la biomasa activa adherida. Estos empaques rotan sobre su eje lentamente (2 a 5 rpm) con un 40% de su superficie sumergida en el agua residual, mientras que el resto entra en contacto con el aire, es decir, la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva. El agua, una vez tratada, pasa después a un sedimentador secundario, en donde se separa la biopelícula despreñada (biomasa en exceso), que constituye los llamados lodos de purga del sistema y que hay que tratar y estabilizar antes de su disposición final. No requiere un sistema mecánico de aireación, por lo que el consumo de energía es pequeño.

### **c) Procesos acoplados**

Estos procesos son una combinación de los anteriores por lo que se aumenta la eficiencia del tratamiento. En la etapa anaerobia se elimina la mayor cantidad de materia orgánica y en la etapa aerobia se pule el efluente anaerobio. Una de las ventajas que ofrece este proceso es la disminución en más de 5 veces la producción de lodo al ser comparado con la de un sistema aerobio, además de que el lodo producido se encuentra estabilizado.

### **7.3.3. Remoción de nutrientes**

Los nutrientes en el agua provocan problemas como la eutrofización acelerada, favoreciendo el crecimiento de algas, provocan un consumo de oxígeno adicional en los cuerpos acuáticos, son tóxicos para los organismos acuáticos superiores, reduce la eficiencia de cloración del agua (algunos compuestos nitrogenados son carcinógenos), para lograr una calidad de agua tratada que pueda ser dispuesta en cuerpos acuáticos, es necesario eliminar los nutrientes del agua residual; en el caso del reúso del agua en actividades no restringidas este aspecto no es estrictamente necesario, aunque deseable. A continuación se indican algunos procesos para la eliminación de estos contaminantes.

#### **a) Sistemas biológicos**

Existen sistemas con biomasa suspendida que están capacitados para la remoción simultánea de nitrógeno y fósforo. Los sistemas de biomasa fija únicamente oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitrato.

#### **b) Sistemas de humedales construidos**

Hacen uso de plantas vegetales, estos sistemas pueden eliminar en forma eficiente, simultáneamente materia orgánica y nutrientes (filtro lecho de raíces con flujo subsuperficial o superficial y el tratamiento con base en lema, lirio acuático, etc.), (Bonilla, 1996).

#### **7.3.4. Remoción de patógenos**

Se requiere de la desinfección para la eliminación de estos contaminantes, los desinfectantes más comunes son:

##### **a) Cloro**

Hipoclorito o gas, debido a su alta disponibilidad en el mercado y a la experiencia, es el desinfectante más utilizado. En una dosis adecuada, el cloro posee un efecto residual por lo que su uso es recomendable cuando haya que almacenar el agua para su posterior disposición o reuso, sin embargo, si no es adecuada la dosificación, se pueden formar compuestos organoclorados, los cuales pueden ser tóxicos y acumularse en el cuerpo receptor.

##### **b) Luz ultravioleta**

La luz ultravioleta no tiene un efecto residual, por lo que el agua tratada se debe reusar o disponer inmediatamente. Una dosis adecuada de radiación ultravioleta ha demostrado ser un bactericida y virucida efectivo y no contribuye a la formación de compuestos tóxicos.

##### **c) Ozono**

Es un agente oxidante fuerte además de desinfectante puede eliminar color, sabor, y olor. Es efectivo en la oxidación de algunos compuestos refractarios (plaguicidas, surfactantes y fenoles). Debido a que es poco soluble y por lo tanto inestable, no se produce un efecto residual.

#### **7.3.5 Materia orgánica no biodegradable**

La eliminación de este contaminante se lleva a cabo por un proceso químico, la adsorción con carbón activado.

Se trata de un proceso fisicoquímico totalmente aplicable al tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico donde no se requiere de alta calidad en el efluente. Es necesario realizar pruebas de jarras para establecer los requerimientos de reactivo óptimos para el sistema, el proceso es complejo por los ajustes de la dosificación de los reactivos y en el manejo del lodo

#### **7.3.6. Lodos**

Para el tratamiento del lodo se requiere de la deshidratación (el objeto es el manejar menos agua durante la estabilización de este) y una estabilización (conversión bacteriana de elementos de sus formas orgánicas a sus formas inorgánicas más oxidadas). Durante el proceso de estabilización, la fracción de sólidos suspendidos volátiles es reducida (Eckenfelder y O'Connor, 1961)

Para llevar a cabo la deshidratación se pueden ocupar los siguientes equipos, todos con la finalidad de concentrar el lodo

- a) **Sedimentadores**
- b) **Sistemas de flotación**
- c) **Centrífugas**

Los procesos de estabilización pueden ser:

##### **a) Digestión**

El tratamiento del lodo aerobio debe ser realizado por medio de este proceso, ya que se ha visto que es más económico.

##### **b) Tratamiento aerobio acelerado**

Mal llamado "digestión aerobia", que es un barbarismo. Tiene un alto costo de inversión y operación.

**c) "Composteo"**

Es una mezcla con residuos de tipo celulósico. Requiere de mano de obra para el mezclado de las pilas, además de demandar mayor área para su localización.

**d) Lechos de secado**

No estabilizan el lodo, solamente lo deshidratan, por lo que es necesario un tratamiento, que puede ser la estabilización con cal en base seca. Tienen el inconveniente de producir malos olores y de requerir un área extensa para su localización; sin embargo, debido a la sencillez de su operación se ha utilizado con frecuencia.

**e) El acondicionamiento químico, la incineración, la pasteurización y el confinamiento en lugares especialmente acondicionados para ello.**

Los procesos anteriores pueden ser complejos y costosos para el caso de pequeñas plantas de tratamiento, por lo que la estabilización con cal y posterior deshidratación puede ser la forma más adecuada para el manejo de lodos.

**7.4. Evaluación de varios sistemas de tratamiento**

A continuación se indica una evaluación de los sistemas de tratamiento, la cual ayudará a la selección adecuada del sistema de tratamiento para las aguas residuales en estudio, basándose en las variables descritas en la sección 7.2.

Los sistemas aerobios como son filtro percolador, lodos activados y discos biológicos rotatorios pueden ser aplicados en el tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico (110 mg/L-400mg/L de DBO), (Ramalho, 1993).

Los sistemas anaerobios son recomendables para aguas residuales altamente contaminadas DBO>1000 mg/L.

#### **7.4.1. Proceso fisicoquímico**

Un tren de tratamiento fisicoquímico se forma con los procesos de coagulación-floculación y adsorción.

##### *Características del agua residual*

Es aplicable a efluentes de tipo doméstico e industriales, donde no se requiere de una alta calidad en el efluente, puede aceptar variaciones de concentración y flujo en el influente, soporta periodos sin alimentación al ser un proceso sin intervención biológica.

##### *Eficiencia del proceso*

La eficiencia oscila entre el 50 y 75% de remoción de DBO, y del 30 al 90% de sólidos suspendidos totales, ya que no tiene un efecto significativo sobre la contaminación disuelta.

##### *Tratamiento o disposición de residuos o subproductos del tratamiento*

Es una de las desventajas de este proceso, ya que genera una gran cantidad de lodos, cuya disposición puede llegar a ser un problema, agravado por ser una mezcla de floculantes con materia orgánica altamente putrescible. Se recomienda la incineración para el tratamiento de los lodos o su confinamiento en lugares especialmente para su disposición final.

##### *Restricciones ambientales*

No existe alguna restricción, salvo las que se deriven del manejo de lodos problemáticos.

### ***Área requerida***

Es un sistema compacto, por lo que requiere solamente poco espacio.

### ***Requerimiento de personal***

Requiere de personal de cierto nivel de capacitación, ya que pueden presentarse problemas en la operación

### ***Costo de inversión y operación***

El costo de inversión es bajo, por los reducidos volúmenes de los tanques. Los costos de operación y mantenimiento son elevados, el principal impacto en los costos de operación lo tiene el consumo de reactivos en el proceso de tratamiento y el manejo de los lodos

## **7.4.2. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente**

### ***Características del agua residual***

Es aplicable a efluentes de tipo doméstico e industriales, siendo capaz de tratar grandes caudales utilizando el concepto de módulos. Acepta importantes variaciones en la calidad de agua como influente y periodos sin alimentación. Siendo recomendables cuando se trata agua residual con valores de DBO > 1000 mg/L.

### ***Eficiencia del proceso***

La eficiencia oscila entre 70 y 80% de remoción de DBO.

### ***Tratamiento o disposición de residuos o subproductos del tratamiento***

El lodo producido puede ser deshidratado en filtros prensa para su posterior tratamiento en un digestor.

#### ***Restricciones ambientales***

No se consideran problemas por generación de olores, se debe contar con un sistema de recolección del gas, lavado y reuso (del metano) o incineración.

#### ***Área requerida***

Es un sistema con equipos de diámetros muy variables y su altura típica es de 5 a 6 metros

#### ***Requerimiento de personal***

No requiere de personal con alto grado de capacitación, una vez que se ha arrancado y estabilizado el sistema

#### ***Costo de inversión y operación***

El costo de obra civil y equipamiento es menor que el de todos los procesos biológicos convencionales. Los costos de mantenimiento y operación son bajos.

### **7.4.3. Filtro percolador**

#### ***Características del agua residual***

Es confiable para el tratamiento del agua residual de tipo doméstico (110 mg/L-400mg/L de DBO)

#### ***Eficiencia del proceso***

Los sistemas de baja tasa logran una remoción del 90 al 95% de DBO, los de media y alta tasa tienen eficiencias del 85 al 90%, pero para lograr estas eficiencias se requiere de la recirculación del efluente, lo que significa un consumo energético adicional.

### ***Tratamiento o disposición de residuos o subproductos del tratamiento***

El lodo producido es putrescible, por lo que es necesario su tratamiento. A pesar de que sedimenta adecuadamente, se trata de un lodo denso, lo que puede hacer necesario un espesador en plantas de tratamiento de gran capacidad.

### ***Restricciones ambientales***

Los filtros no deben instalarse en lugares donde el viento pueda llevar los olores a zonas habitadas. La proliferación de ciertas moscas puede ser un problema, si no se toman medidas para su control.

### ***Área requerida***

Depende del caudal de diseño por tratar, así como la tasa de diseño y el material de empaque. Los filtros de alta tasa con empaques plásticos requerirán menos área, los empacados con piedra pueden requerir más terreno, sin embargo, la altura típica de los filtros es de 5 metros, lo cual favorece su instalación en áreas reducidas.

### ***Requerimiento de personal***

No se requiere de personal con alto grado de capacitación.

### ***Costo de inversión y operación***

Uno de los costos principales es el empaque, especialmente si éste es de plástico. Otro costo importante, es el tratamiento de lodos. Los costos asociados a la operación son generalmente bajos, debido a que es sencilla la operación.

#### **7.4.4. Lodos activados**

##### ***Características del agua residual***

Es capaz de soportar variaciones de flujo. Presenta un buen funcionamiento para concentraciones de 60 a 300 mgDBO/L en el influente.

##### ***Eficiencia del proceso***

La eficiencia del sistema es de 90% de remoción de DBO

##### ***Tratamiento o disposición de residuos o subproductos del tratamiento***

El lodo producido puede mandarse a filtros prensa y posteriormente a lechos de secado o un digestor para su tratamiento.

##### ***Restricciones ambientales***

En caso de que no exista una adecuada aireación pueden producirse malos olores, también puede presentarse ruido producido por el equipo electromecánico.

##### ***Área requerida***

Al igual que los otros sistemas señalados anteriormente, el área requerida depende del caudal de diseño por tratar. La planta ocupa un espacio semejante a otros procesos.

##### ***Requerimiento de personal***

Se requiere de personal con un alto grado de capacitación y con experiencia en la operación de este tipo de sistemas.

#### ***Costo de inversión y operación***

El costo de obra civil y equipamiento es importante, aunque existe una amplia oferta de los equipos electromecánicos necesarios. Se tiene una operación costosa por los requerimientos energéticos para suministrar el oxígeno. Este costo puede ser compensado con el ahorro al simplificar el manejo de lodo. De cualquier forma, es el sistema que tiene los costos más altos de los procesos biológicos considerados.

#### **7.4.5. Discos biológicos rotatorios**

##### ***Características del agua residual***

Es capaz de soportar variaciones de flujo. Se han desarrollado plantas paquete para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico 110 - 400 mgDBO/L.

##### ***Eficiencia del proceso***

La eficiencia del sistema es de 90% de remoción de DBO.

##### ***Tratamiento o disposición de residuos o subproductos del tratamiento***

El lodo producido es similar al lodo del filtro percolador (carácter putrescible). El lodo debe ser digerido antes de su disposición final.

##### ***Restricciones ambientales***

La existencia de malos olores y molestias por ruido, son nulos en estos sistemas, siempre y cuando no se sobrecarguen.

##### ***Área requerida***

Depende del caudal de diseño por tratar, sin embargo, el tiempo de residencia hidráulica es corto por lo que se tienen reactores con un volumen pequeño.

### ***Requerimiento de personal***

Debido a la simplicidad en la operación y mantenimiento de este sistema de tratamiento, los requerimientos de capacitación del personal, grado de calificación y experiencia, son bajos

### ***Costo de inversión y operación***

El equipo mecánico (módulos de discos) es costoso, lo que lleva al proceso a ser de los más altos en esta variable. La operación es sencilla y los costos asociados a la misma son bajos

## **7.5 Selección del proceso de tratamiento**

La selección del sistema de tratamiento depende básicamente de la eficiencia del proceso, el costo de operación y mantenimiento y restricciones ambientales, ya que las características del efluente en cualquiera de los sistemas de tratamiento descritos anteriormente son del mismo tipo

Dadas las características de las aguas residuales generadas en la planta en estudio, si se segregan los efluentes de los servicios, pueden obtenerse residuos líquidos equivalentes a los de tipo doméstico, los cuales pueden ser depurados a través de un sistema de tratamiento biológico ya que, para descargas de agua residual de tipo doméstico es más económico, y se logra una remoción mayor que en un tratamiento no biológico

Para el caso en estudio se propone la instalación de un sistema de tratamiento que incluye un reactor de discos biológicos rotatorios, ya que puede alcanzar una remoción mayor o igual al 90% de DBO, otro factor importante para la selección de este sistema es el área que se requiere para su instalación ya que sólo necesita poco espacio para su ubicación, su operación y mantenimiento es simple por lo que el costo de operación y mantenimiento es muy bajo en comparación con los otros sistemas aerobios, debido a que la rotación de los discos permite el suministro de oxígeno necesario para el proceso depurativo. Se han desarrollado plantas paquete para flujos entre 4 y 50

m<sup>3</sup>/d. El sistema puede cubrirse con techumbres para controlar el efecto de la temperatura ambiente y favorecer la eficiencia del mismo.

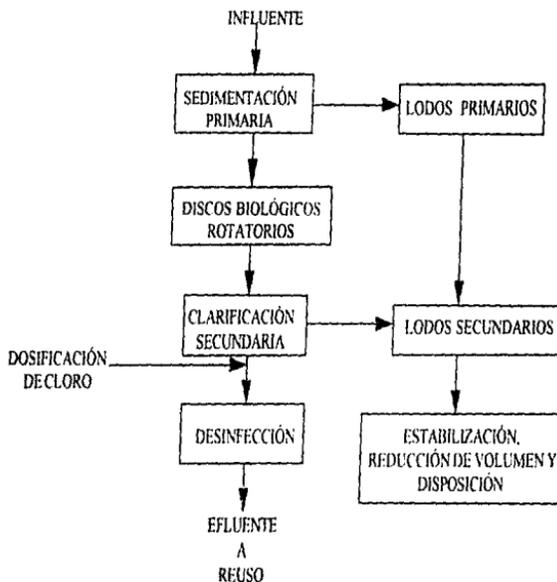
A continuación se presenta de manera general el proceso de tratamiento propuesto y, además, se muestra un diagrama de bloques del proceso en la figura 7 1

<b>TRATAMIENTO PROCESO</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>
◆ <b>Primario</b>	<b>Sedimentación</b>	Se lleva a cabo la remoción de contaminantes suspendidos. Es un tratamiento físico, en donde se aprovechan las diferentes densidades, los sólidos y líquidos flotantes. El material menos denso que el agua, se separa del influente por desnatado y el de mayor densidad mediante su sedimentación en equipos de clarificación. No se requiere de energía adicional a la de bombeo y de las rastras.
◆ <b>Secundario</b>	<b>Reactor biológico rotatorio</b>	Debido a que los organismos se encuentran adheridos al empaque, el comportamiento de este reactor se asemeja a un reactor de flujo pistón altamente eficiente, el cual requiere de tiempos de residencia hidráulica cortos, logrando alcanzar altas eficiencias de remoción de contaminantes orgánicos disueltos biodegradables y teniendo capacidad para soportar fluctuaciones en la concentración de contaminante y carga hidráulica, con un mínimo consumo de energía. Los componentes mecánicos son de mantenimiento sencillo, ya que trabajan a baja velocidad.

**TRATAMIENTO PROCESO****DESCRIPCIÓN**

- |                 |                          |  |
|-----------------|--------------------------|--|
| ◆ Sedimentación | Clarificación secundaria | Los contaminantes disueltos, después de haber sido transformados en materia suspendida, se separan utilizando un clarificador secundario, del cual se obtiene un efluente de alta calidad, cuyas concentraciones de materia orgánica disuelta y sólidos son mínimas. |
| ◆ Desinfección  | Cloración                | Permite la remoción de microorganismos patógenos, mediante una sencilla y económica operación  |
| ◆ Lodos         | Almacenaje integral      | Los lodos producidos pueden ser parcialmente estabilizados y posteriormente almacenados a largo plazo dentro de la planta (6 meses o más).   |

Fig. 7.1. Diagrama de bloques del sistema de tratamiento para aguas residuales de tipo doméstico



## **CAPÍTULO 8**

### **DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PROPUESTO**

En la actualidad existen programas de computación específicos para simular diferentes condiciones de operación de algunos procesos con relativamente pocos datos, esto contribuye a minimizar la realización de experimentos, tanto en laboratorios como en plantas piloto. En el presente trabajo se recurrió a un software llamado ENPRO, el cual cuenta con modelos para simular diferentes sistemas biológicos (aerobios o anaerobios, de biopelícula o floculados). Este fue ya previamente descrito en trabajos anteriores (López-Martínez, 1995; Sánchez, 1996).

#### **8.1. Condiciones de operación simuladas**

Para la simulación del proceso se tomaron las características de las aguas de servicios, ya que uno de los objetivos es segregar las aguas residuales de la planta (las de servicios por un lado y las de proceso por otro).

En la tabla 8.1 se presentan las características del influente, tomando en cuenta los valores típicos de las aguas residuales de servicios, así como los criterios sobre las características máximas permisibles que debe tener un agua tratada para ser reusada en el riego de áreas verdes. Los guiones que se colocaron en la tabla indican que no se cuenta con los valores de los parámetros correspondientes.

**TABLA 8.1. CARACTERÍSTICAS DEL INFLUENTE Y EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

PARÁMETRO	INFLUENTE	RIEGO DE ÁREAS VERDES
Temperatura (°C)	21	-
pH	6.5	6.9
DBO <sub>5</sub> soluble (mg/L)	500	20
DCO soluble (mg/L)	-	50
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	441	515

Los flujos obtenidos en el capítulo 6 se resumen en las tablas 8.2 y 8.3, los cuales son utilizados en la simulación

**TABLA 8.2. FLUJO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE PROCESO CANALIZADAS A LAS FOSAS 1 Y PARTE DE LA 3**

Núm. DE FOSA	FLUJO (m <sup>3</sup> /d)
Fosa 1 (proceso)	7.30
Fosa 3 (proceso)	9.2
<b>Total</b>	<b>16.6</b>

**TABLA 8.3. FLUJO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS CANALIZADAS A LAS FOSAS 2, 4 Y PARTE DE LA 3**

Núm. DE FOSA	FLUJO (m <sup>3</sup> /d)
Fosa 2 (servicios)	27.80
Fosa 3 (servicios)	4.80
Fosa 4 (servicios)	3.90
<b>Total</b>	<b>36.50</b>

El flujo de las descargas del agua residual con características similares a las de tipo doméstico es de 36.50 m<sup>3</sup>/d. Además, se considera un factor de diseño del 15% por lo que el flujo de diseño sería de 42.52 m<sup>3</sup>/día (297.64 m<sup>3</sup>/semana). Se considera un tiempo de operación de 24 horas durante los 7 días de la semana.

Se establece un tiempo de residencia hidráulica de 12 horas ya que para aguas residuales con cargas orgánicas bajas, se requiere de tiempos de residencia hidráulica cortos para alcanzar buenas eficiencias depurativas (Chavez, 1995).

## 8.2. Resultados de la simulación del tratamiento biológico

En la tabla 8.4 se indican algunas características, así como el dimensionamiento obtenido de la simulación.

**TABLA 8.4. RESULTADOS MÁS IMPORTANTES DE LA SIMULACIÓN PARA UN FLUJO DE 1.46 m<sup>3</sup>/h**

PARAMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE
Tiempo de residencia (h)	-	12
Volumen del reactor (m <sup>3</sup> )	-	17.5
Temperatura (°C)	21	21
pH	6.5	6.5
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	500	7.39
DQO (mg/L)	1100	11.81
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	441	10
Flujo volumétrico de lodos generados (m <sup>3</sup> /h)	-	0.05
Volumen del digestor (tratamiento de lodos) (m <sup>3</sup> )	-	17.88
Tiempo de retención en el digestor (días)	-	14.9

El flujo de 1.46 m<sup>3</sup>/h cumple con los requerimientos establecidos en este trabajo para poder reutilizar el agua residual en riego de áreas verdes y es posible operar la planta de tratamiento durante las 24 horas del día, además de obtener el mejor dimensionamiento con estas condiciones de operación.

## CAPÍTULO 9

### EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los resultados obtenidos de la simulación para las condiciones de segregación de corrientes de aguas residuales de proceso y de tipo doméstico indican que es factible instalar un reactor biológico rotatorio de aproximadamente  $17.5 \text{ m}^3$  para tratar un flujo de  $1.46 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $35 \text{ m}^3/\text{d}$ ) con un tiempo de residencia de 12 horas e instalar un digestor de un volumen de 610 litros, con un tiempo de residencia de 14.9 días, el cual tratará los lodos que se generarán durante el tratamiento biológico.

En este capítulo se analizará el aspecto económico, el cual es un factor importante en la selección de cualquier proceso de tratamiento de aguas residuales, con objeto de escoger el proceso que cumpla con la calidad de agua exigida y, además, posea un bajo costo de inversión pero, sobre todo, que mantenga bajos costos de operación y mantenimiento.

Para llevar a cabo esta evaluación económica se estableció contacto con una compañía que ensambla plantas paquete en México, que incluyen el sistema de reactores biológicos rotatorios.

#### 9.1. Inversión de capital

Antes de iniciar la operación de alguna planta se necesita una cantidad de dinero para la adquisición del equipo e instalación del mismo, tomando en cuenta que debe contarse con la tubería e instrumentos de control, en algunos casos, para obtener el terreno donde se piensa instalar la planta. Además, es necesario tener dinero disponible para los gastos de operación de la planta (Peters y Timmerhaus, 1981).

El capital necesario para la instalación del equipo de proceso con sus equipos auxiliares y accesorios para llevar a cabo la operación de la planta se conoce como inversión de capital fijo, el capital necesario para la operación de la planta es llamado capital de trabajo. La suma del capital fijo y el capital de trabajo se define como inversión de capital (Peters y Timmerhaus, 1981).

Una estimación de inversión de capital puede variar de un estimado basado en poca información, hasta una estimación a detalle tomando en cuenta los diagramas de proceso y especificaciones. Existen estimaciones de costos preliminares, intermedios y detallados y la diferencia entre cada una de estas estimaciones es la precisión, ya que una estimación preliminar presenta un error de  $\pm$

(30 - 50)%, un estudio intermedio tiene un error de  $\pm (15 - 30)\%$  y una estimación detallada puede llegar a tener un error de  $\pm (15 - 5)\%$ . Esto depende de la información y tiempo con que se cuenta para considerar todas las especificaciones necesarias para lograr la instalación de la planta (Peters y Timmerhaus, 1981).

En este trabajo se realiza una estimación de costos con un método preliminar, por lo que se tiene un error de  $\pm (30 - 50)\%$ , basado en la cotización de una planta paquete de "discos" biológicos rotatorios.

El capital de trabajo para una planta química típica está representado por el capital adicional con que hay que contar para que empiece a funcionar una empresa, esto es, hay que financiar la primera producción antes de recibir ingresos, entonces, debe comprarse materia prima, pagar mano de obra directa, otorgar crédito en las primeras ventas y contar con cierta cantidad de efectivo para sufragar los gastos diarios de la empresa. Pero, así como hay que invertir, también se puede obtener crédito en conceptos tales, como impuestos, algunos servicios y proveedores (Urbina, 1990).

La relación de capital de trabajo a la inversión total de capital varía con diferentes empresas, pero la mayoría de las plantas químicas utilizan un capital de trabajo inicial del 10 al 20% de la inversión total de capital (Thomas y Himmelblau, 1988).

## 9.2. Cotización comercial

A continuación se indican los procesos con que cuenta la planta paquete que se propone instalar:

1. Sedimentación primaria
2. Reacción biológica de conversión
3. Clarificación secundaria
4. Desinfección

Con los datos para el diseño del tratamiento biológico obtenidos de la simulación, se puede lograr una cotización de una planta paquete de tamaño estándar con una capacidad hidráulica idéntica o inmediatamente superior a 35 metros cúbicos por día (Mexicana General de Bombeo, 1996).

Las plantas paquete que se pueden encontrar comercialmente que cubren la capacidad hidráulica de este estudio (35 m<sup>3</sup>/d) es un modelo denominado BR8, este modelo es capaz de manejar un flujo

de 50 m<sup>3</sup>/d. Un modelo menor (BR6) trabaja con un flujo de 25 m<sup>3</sup>/d por lo que no cubre los requerimientos de este estudio.

En la tabla 9.1 se describen las características del influente de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico

**TABLA 9.1. CARACTERÍSTICAS DEL INFLUENTE DE LA PLANTA PAQUETE**

CARACTERÍSTICA	VALOR
Caudal medio	35 m <sup>3</sup> /d = 0.41 L/s (lps)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5 soluble</sub> )	500 mg/L
Sólidos suspendidos totales (SST)	400 mg/L
Temperatura máxima (Verano)	25°C
Temperatura mínima (Invierno)	17°C

En la tabla 9.2 se indican las características del efluente de la planta paquete cotizada y los valores de los parámetros requeridos para reutilizarlo en riego de áreas verdes o poder ser descargado al drenaje municipal

Se debe recordar que los criterios de calidad para el reuso de agua tratada para riego de áreas verdes, son solamente recomendaciones y no se deben tomar como un valor obligatorio para cumplir, por lo que las características del efluente de la planta paquete cotizada es aceptable para su reuso.

**TABLA 9.2. CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA PAQUETE**

CARACTERÍSTICA	REQUERIDAS	EFLUENTE
DBO <sub>5 soluble</sub>	20 mg/L	30 mg/L --
Sólidos suspendidos totales (SST)	515 mg/L	30 mg/L
Coliformes totales	30.000 UFC/100ml	1.000 NMP/100mL

Para saber si el modelo que maneja la capacidad hidráulica puede lograr la depuración biológica, se toman ciertos criterios que se mencionan enseguida.

El tratamiento primario remueve de un 30 a 40% de la DBO<sub>5</sub> para el diseño del tratamiento biológico, la empresa que realizó la cotización consideró un mínimo de 30%, por lo que la concentración orgánica alimentada al reactor biológico es de

$$CO = 500\text{mg/L} \cdot (100-30)/100 = 350\text{mg/L}$$

De acuerdo a recomendaciones de la Water Environment Federation, la carga orgánica aplicada a los discos biológicos deberá encontrarse entre 15 y 24 gDBO<sub>5</sub> /m<sup>2</sup>\*d, el diseño se realiza aplicando una carga orgánica de 16 gDBO<sub>5</sub> /m<sup>2</sup>\*d, de tal manera que se obtiene un factor de seguridad del 50%, el área requerida para el crecimiento biológico es de

$$A = \frac{DBO_5}{CO} = \frac{35\text{m}^3/\text{d} \cdot 350\text{mg/l} \cdot 1000\text{l}/\text{m}^3}{16\text{gDBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 1000\text{mg/g}}$$

$$A = 765.63\text{ m}^2$$

Los discos biológicos rotatorios en el modelo BRS tienen un área total para el crecimiento biológico de 537 m<sup>2</sup>, por lo que no cumple este modelo con la capacidad requerida para la depuración biológica. Por lo tanto, es necesario incrementar la capacidad utilizando una planta paquete de mayor tamaño, el modelo BR11 cuenta con un área efectiva en discos para la depuración biológica de 859 m<sup>2</sup>

Si se presenta algún aumento de carga orgánica o hidráulica en el influente de la planta de tratamiento, ésta puede soportarlos debido a que cuenta con un área mayor de la requerida.

Siguiendo las recomendaciones de la Water Environment Federation, la carga hidráulica aplicada no deberá ser menor a 20, ni mayor a 244 L/ m<sup>2</sup> d, la carga hidráulica en este caso es.

$$CH = \frac{35\text{m}^3/\text{d} \cdot 1000\text{l}/\text{m}^3}{859\text{ m}^2}$$

$$CH = 40.75\text{ L}/\text{m}^2\text{ d}$$

Al encontrarse dentro del intervalo aceptable, el modelo BR11 cumple plenamente con los requisitos, tanto de carga orgánica como hidráulica para garantizar la calidad del efluente de manera constante

En la tabla 9.3 se mencionan algunas de las características de la planta paquete de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico que es capaz de cubrir las necesidades requeridas en este estudio

**TABLA 9.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO SELECCIONADA**

Tipo	Paquete
Longitud total	9.20 m
Ancho	2.15 m
Altura	2.25 m
Capacidad nominal	80 m <sup>3</sup> /d
Capacidad en las condiciones de operación	41.65 m <sup>3</sup> /d

La planta paquete incluye los siguientes equipos y dispositivos principales

1. Módulo de un reactor de discos biológicos rotatorios en etapas
2. Unidad motriz
3. Clorador de tabletas
4. Contador de horas (operación de equipo)
5. Voltímetro
6. Amperímetro
7. Tanques para toda la planta
8. Tablero de control incluyendo arrancador, luces piloto y protección termomagnética para todo el equipo y dispositivos

A continuación se indican, en la tabla 9.4, las características principales de los diferentes equipos que incluye la planta paquete que se cotizó para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico.

**TABLA 9.4. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA PLANTA COTIZADA**

• <b>Tratamiento primario</b>	Clarificación y flotación por gravedad	Carga hidráulica a flujo promedio	26.1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día
		Tiempo de residencia	5.49 H
		Volumen	8 m <sup>3</sup>
• <b>Tratamiento biológico</b>	Reactor biológico rotatorio	Diametro de los discos	1.60 m
		Longitud del reactor	4.64 m
		Area disponible total para crecimiento biológico	859 m <sup>2</sup>
		Area en primera etapa	344 m <sup>2</sup>
		Area en segunda etapa	172 m <sup>2</sup>
		Carga orgánica aplicada	16 gDPO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día
		Velocidad de rotación	3.6 r p m
	Factor de servicio (reductor)	1.50	
	Potencia del motor electrico	0.75 HP	
• <b>Clarificador secundario</b>	Clarificador estatico, separación de lodo secundario por diferencia de densidades	Carga hidráulica a flujo promedio	6.34 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día
		Tiempo de residencia	4.57 H
		Volumen	7 m <sup>3</sup>
• <b>Desinfección</b>	Cloración utilizando alimentador de tabletas	Tanque de reaccion	Estatico, con mamparas auxiliares para mezcla
		Tiempo minimo de retención en el tanque de reacción	30 minutos
		Dosificación	3 ppm
• <b>Instrumentación</b>	Tablero general	Contador de horas del equipo en operación	
		Amperímetro	
		Voltímetro	
		Luces indicadoras de arranque y paro	

### 9.3 Inversión de capital fijo

En la cotización comercial se establece un precio total por los servicios propuestos de **US\$52,010.00** (cincuenta y dos mil diez dolares americanos 00/100 U S ) mas impuestos al valor agregado (IVA), es decir, **US\$59,811.50** (cincuenta y nueve mil ochocientos once dolares americanos 50/100 U S ) Esta cotizacion está fechada en marzo de 1996

### 9.4 Capital de trabajo

#### 9.4.1 Energía eléctrica

La fase de tratamiento biológico es la única que consume energía eléctrica, por lo que a continuación se indica el consumo de energía eléctrica de la planta paquete en kilowatts por hora consumidos mensualmente (con base en la información de la tabla 9.4)

$$0.75 \text{ HP} * 0.746 \text{ kW/HP} * 24 \text{ h/d} * 30 \text{ d/mes} = 402.84 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Costo del kWh} = \$0.22$$

$$\text{Costo energía eléctrica} = 402.84 \text{ kWh/mes} * \$0.22 = \$88.62/\text{mes}$$

Costo de energía por cada metro cúbico de agua tratado:

$$\$88.62/\text{mes} / [(35 \text{ m}^3/\text{d}) * (30\text{d}/\text{mes})] = \$0.08/\text{m}^3$$

#### 9.4.2 Desinfección

Se utilizan tabletas de hipoclorito de Calcio para lograr la desinfección del efluente. Para desinfectar  $1 \text{ m}^3$  se requieren 0.03 tabletas por mes, ya que se considera una dosificación de cloro de 3 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos en el tanque de contacto.

$$\text{Peso de una tableta} = 0.14 \text{ kg}$$

$$\text{Costo un kg} = \$25.00$$

$$\text{Costo de cloro} = 35\text{m}^3/\text{d} * 30\text{d}/\text{mes} * 0.14\text{kg}/\text{tableta} * \$25/\text{kg} = \$110.29/\text{mes}$$

Costo de cloro por cada metro cúbico tratado de agua:

$$\text{\$110.29/mes} / (35 \text{ m}^3/\text{d} * 30 \text{ d/mes}) = \text{\$0.11/m}^3$$

#### 9.4.3 Lubricantes

A continuación, en la tabla 9.5, se describen los costos necesarios de lubricante

TABLA 9.5. COSTO DE LUBRICANTES EN LA PLANTA COTIZADA

	EQUIPO	
	Chumaceras	Motorreductor en discos biológicos rotatorios
Lubricante	Vaso de grasa	Aceite
Capacidad	2 piezas	3 30 litros
Costo unitario	\\$100 / pza	\\$35.80
Importe	\\$200.00	\\$390.22
Frecuencia promedio	6 meses	3 años
Costo mensual	\\$33.33	\\$10.84
Costo/m <sup>3</sup>	\\$0.0317	\\$0.0103

$$\text{Costo de lubricantes} = \$33.33 + \$10.84 = \text{\$44.17/mes}$$

#### 9.4.4 Mano de obra

Tomando como base un sueldo de \\$2,000.00 mensual, por lo que la mano de obra por hora es de \\$8.333. Los importes necesarios se presentan en la tabla 9.6.

**TABLA 9.6. COSTOS DE MANO DE OBRA EN LA PLANTA COTIZADA**

Actividad	Duración (H)	Frecuencia (veces/mes)	Costo mensual (\$)	Costo m <sup>3</sup>
Inspeccion y limpieza promedio mensual	3.00	4.30	107.5	0.1024
Reposicion de tabletas de cloro	0.50	1.00	4.17	0.0040
Limpieza de planta (supervision servicios de terceros)	4.00	1/6	5.56	0.0053
Colocacion de graseras (chumaceras)	0.50	1/6	0.69	0.0007
Cambio de aceite en motores y reductor	8.00	1/36	1.85	0.0018
<b>Total</b>			<b>119.77</b>	<b>0.1142</b>

#### 9.4.5 Servicios regulares por terceros

Para esta planta con capacidad nominal de 50 m<sup>3</sup>/d, el volumen que se requiere de limpieza es de 14.66 metros cúbicos en tanques, por lo que es necesario utilizar 2 viajes de pipas con capacidad de 8 metros cúbicos. Si el costo por viaje es de \$600.00.

$$\text{Costo por servicios} = (2 \text{ viajes} * \$600/\text{viaje}) / 6 \text{ meses}/\text{limpieza} = \mathbf{\$200/\text{mes}}$$

Costo de servicios por metro cúbico tratado

$$\$200/\text{mes} / (35 \text{ m}^3/\text{d}) * (30 \text{ d}/\text{mes}) = \mathbf{\$0.19/\text{m}^3}$$

Este costo puede modificarse si el lodo es tratado en la propia planta en un sistema de digestión. El costo puede reducirse en un 80%, lo que daría \$0.038/m<sup>3</sup> y \$40/mes.

#### 9.4.6 Costo total de operación

El capital de trabajo para que empiece a funcionar la planta paquete en estudio es de \$0 65/m<sup>3</sup> de agua tratada. En la tabla 9.7 se desglosa en los diferentes rubros que forman el monto total de los costos de operación.

TABLA 9.7. COSTOS DE OPERACION DE LA PLANTA PAQUETE

DESCRIPCIÓN	IMPORTE MENSUAL (\$)
Energía eléctrica	88 62
Desinfección	110 29
Lubricantes	44 17
Mano de obra	119 77
Servicios regulares	200 00*
<b>Subtotal</b>	<b>562.85</b>
Imprevistos e indirectos (15%)	84 43
<b>Costo total de operación mensual</b>	<b>647.28</b>

\* Este costo dependerá de si el lodo es tratado *in situ*, reduciéndolo en un 80%, dando \$463 28/mes.

Costo de operación por metro cúbico tratado

$$\$ 647.28 / (35 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 30 \text{ d/mes}) = \$0 62/\text{m}^3$$

\$0 441 cuando los lodos son digeridos y dispuestos en el lugar como mejoradores de suelos en las áreas verdes

#### 9.5 Justificación económica

A continuación se describen los puntos por los que el tratamiento de las aguas residuales puede ser rentable.

Base para la evaluación

Tipo de cambio	\$7 50 / US\$1,00
Costo del agua potable en sitio	\$6 00 / m <sup>3</sup>

Costo unitario de operación (capital de trabajo)	\$0.62 / m <sup>3</sup>
Inversión inicial total (inversión de capital fijo)	US\$52,010.00 más IVA
Inversión de capital fijo en pesos mexicanos	(US\$59,811.50) \$448,586.25

### 9.5.1 Ahorro anual

Uno de los objetivos del presente trabajo es el reuso del agua tratada (35 m<sup>3</sup>/d), lo que beneficiaría a la disminución de suministro de agua potable (35 m<sup>3</sup>/d) y por ende el costo por este servicio. El ahorro anual en agua potable equivalente a la capacidad de tratamiento, es:

$$\text{Ahorro anual} = \$0.00/\text{m}^3 \cdot 35\text{m}^3/\text{d} \cdot 365 \text{ d/año} = \$ 76,650.00$$

El costo por la operación de la planta paquete es de \$0.62/m<sup>3</sup>, por lo que se tiene una diferencia anual:

$$\text{Ahorro anual} = (\$0.00/\text{m}^3 - \$0.62/\text{m}^3) \cdot 35\text{m}^3/\text{d} \cdot 365 \text{ d/año} = \mathbf{\$68,729.50/\text{año}}$$

Es claro que el costo de \$0.00 por metro cúbico se está incrementando bimestralmente por parte de la CNA o sus equivalentes estatales o municipales, por lo que estos montos son bastante conservadores.

### 9.5.2. Tiempo de recuperación

Si se considera la inversión inicial total de \$448,586.25 la planta paquete se pagará en:

$$N = \frac{\$448,586.25 (\text{inversión inicial})}{\$68,729.50 (\text{ahorro anual})} = \mathbf{6.53 \text{ años}}$$

Nuevamente, es un valor muy conservador, ya que se tomó el costo del metro cúbico de agua potable de diciembre de 1995.

### 9.5.3. Utilidades de la inversión

En esta sección se calcula el ahorro en la vida útil (20 años) de la planta paquete, es decir, después de que se recupera la inversión y se empiezan a obtener ganancias, esto es, en un periodo de 14.29 años (tiempo de vida útil - tiempo de recuperación de la inversión).

Por lo que, la **utilidad de la inversión** es el ahorro anual (\$68,729.5) durante los 14.29 años, lo que da como resultado **\$982,144.50**.

#### **9.5.4 Factor de retorno de la inversión**

Considerando el ahorro en la vida útil de la planta paquete (20 años) se obtienen las utilidades de la inversión, las cuales se obtienen después de que la inversión inicial es amortizada, es decir, está totalmente pagada

$$FR = \frac{\$982,144.50 \text{ (ahorro generado)}}{\$448,586.25 \text{ (monto invertido)}} * 100 = 218.94\%$$

$$FR = 218.94\%$$

Cabe señalar, que todos los costos se evaluaron como valores constantes, sin embargo, en la práctica éstos se incrementan. Los costos de operación de la planta y de amortización del capital se elevan en menor proporción al costo del agua potable, razón por la cual los ahorros y el retorno de la inversión serán mayores a los estimados en este estudio

## CAPÍTULO 10

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los datos obtenidos en este estudio puede decirse lo siguiente.

- ☞ El volumen del suministro de agua es de  $160.3 \text{ m}^3$  en un día, es utilizado en tres rubros:  $76.8 \text{ m}^3$  (47.89%) para riego de áreas verdes,  $37.6 \text{ m}^3$  (23.51%) en servicios y  $45.9 \text{ m}^3$  (28.6%) en las áreas de proceso
- ☞ Existe la posibilidad técnica de segregar las corrientes de agua residual de proceso por un lado y por el otro las aguas residuales de tipo doméstico. Mediante la modificación de drenajes (por obra civil "mínima"), para evitar que se mezclen (ver figura 4.4)
- ☞ El flujo de agua residual de proceso, posible de recuperar en las fosas uno y parte de la tres, es de  $16.6 \text{ m}^3/\text{d}$ . Este flujo de agua puede ser tratado en el sistema físico-químico ya existente
- ☞ El flujo de agua residual de servicios posible de recuperar en las fosas dos, parte de la tres y cuatro, es de  $36.5 \text{ m}^3/\text{d}$ . De acuerdo a las características del agua residual de tipo doméstico, se puede utilizar un tratamiento biológico para depurar el agua residual de servicios
- ☞ Mediante los siguientes procesos y operaciones unitarias, se pueden eliminar los contaminantes presentes en el agua residual de tipo doméstico generados en la planta. Un sedimentador ayuda a eliminar sólidos suspendidos, un reactor de discos biológicos rotatorios elimina la materia orgánica biodegradable, un segundo sedimentador elimina los contaminantes disueltos después de ser transformados materia suspendida, con la

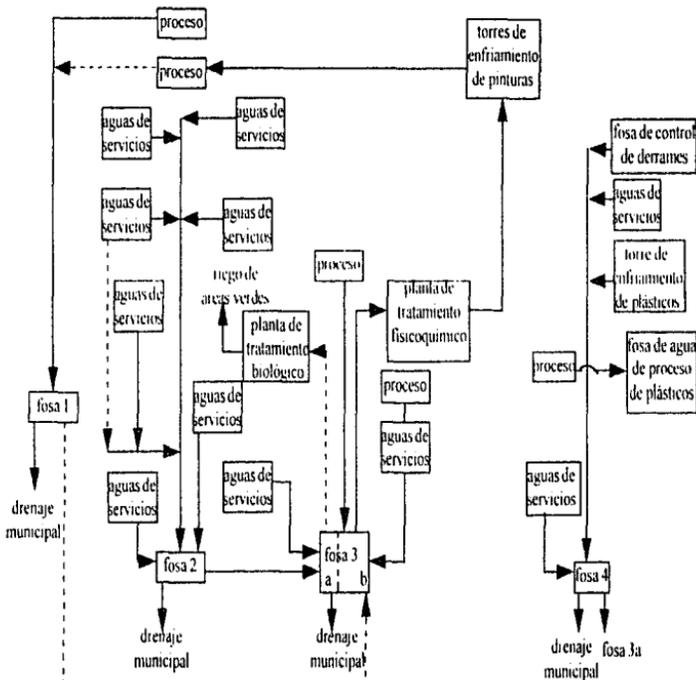
## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

desinfección a través de la cloración se eliminan organismos patógenos y por medio de una digestión se logra la estabilización de los lodos generados y se pueden utilizar como mejoradores de suelos

- ☛ Es factible técnicamente usar un reactor de discos biológicos rotatorios de aproximadamente  $17.5 \text{ m}^3$  para tratar un flujo de  $1.46 \text{ m}^3/\text{h}$  con un tiempo de residencia de 12 horas e instalar un digestor de un volumen de  $17 \text{ m}^3$  con un tiempo de residencia de 14.9 días, para los lodos que se generarían durante el tratamiento biológico
- ☛ Para el tratamiento de las aguas residuales de proceso se utiliza un tren de tratamiento formado por los procesos de coagulación-floculación y adsorción. Los lodos generados se deshidratan y se disponen en un lugar de confinamiento de residuos peligrosos
- ☛ La segregación de corrientes permite el tratamiento de las aguas residuales de proceso en sistemas *ad hoc* (para compuestos químicos potencialmente tóxicos o recalcitrantes a la degradación biológica)
- ☛ Las aguas residuales de proceso tratadas mediante el sistema físico-químico ya existente únicamente se pueden emplear como agua de enfriamiento
- ☛ Tratar las aguas residuales de servicios (tipo doméstico) mediante el sistema biológico únicamente y emplearlas como agua de riego de áreas verdes
- ☛ El ahorro en suministro de agua fresca se estima 58.28% diariamente y un ahorro de \$68,729.50 anualmente. En la tabla 10.1 y en la figura 10.1 se representan estos datos.

Fig. 4.4. Plano de segregación de las líneas de drenajes

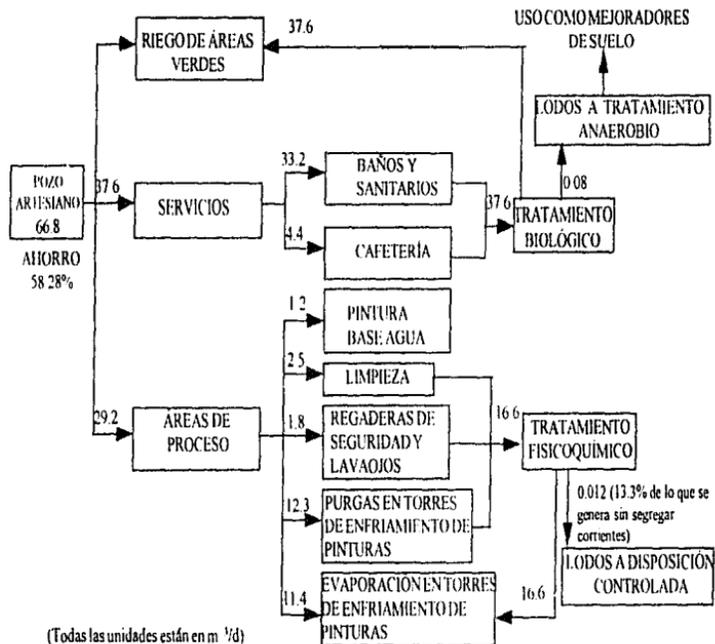
(Existe infiltración de agua de lluvia en todos los drenajes)



**TABLA 10.1. AHORRO ESTIMADO EN EL SUMINISTRO DE AGUA FRESCA, SI SE REALIZA UN TRATAMIENTO SEPARADO DEL AGUA RESIDUAL DE TIPO DOMESTICO DE LA DE PROCESO**

<p>⇒ Reutilización de 36.5 m<sup>3</sup> d de agua tratada en riego, a través del riego entre las 4.00 y 8.00 de la mañana o de 8.00 y 12.00 de la noche, ya que durante esas horas la dispersión provocada por el viento es baja y las pérdidas por evaporación son despreciables (Garduño y Arreguin, 1994)</p>	<p><b>Existe un ahorro de 58.28% del volumen de suministro de agua diariamente</b></p>
<p>⇒ Disminución del volumen de agua utilizado en el riego de áreas verdes (40.2 m<sup>3</sup> d)</p>	
<p>⇒ Reutilización de 16.6 m<sup>3</sup> d de agua tratada en torres de enfriamiento</p>	<p><b>Existe un ahorro de \$ 188.3/d (\$68,729.50/año)</b></p>
<p>⇒ Se extraeran del pozo aproximadamente 66.8 m<sup>3</sup>/d de agua fresca</p>	

Fig. 10.1. Distribución del suministro de agua con las condiciones de segregación



- En la tabla 10.2 se presentan en forma sucinta las ventajas y desventajas técnicas de una segregación de drenajes y tratamientos independientes de aguas residuales de diferentes características (procesos y servicios). Estas ventajas y desventajas, son establecidas desde un punto de vista técnico

**TABLA 10.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA POSIBLE SEGREGACION DE CORRIENTES DE AGUA RESIDUAL**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en el consumo de reactivos para el tratamiento fisicoquímico debido a que sólo se tratarán 16.6 m<sup>3</sup>/d</li> <li>• Disminución en el tiempo de generación de la misma cantidad de lodos o residuos potencialmente peligrosos en el sistema fisicoquímico de tratamiento, debido a que se tratarán sólo 16.6 m<sup>3</sup>/d y, por ende, de costos de disposición</li> <li>• Se garantiza que no existirá inestabilidad en el sistema biológico debido a que sólo se tratarán aguas residuales de tipo doméstico y que las aguas tratadas pueden emplearse en el riego de áreas verdes sin problemas de presencia de compuestos potencialmente tóxicos en esas áreas</li> <li>• El sistema fisicoquímico alcanzaría una mayor eficiencia de remoción al no estar presente la materia orgánica biodegradable proveniente de los servicios dando también una mayor calidad a estos efluentes tratados para emplearlos como agua de enfriamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo por obra civil para llevar a cabo la segregación de corrientes de aguas residuales domésticas y de proceso</li> <li>• Costo por la adquisición, instalación y operación de una planta biológica de tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico</li> </ul>

- ☛ De acuerdo a las características de las aguas residuales de servicios y los requerimientos del efluente, para ser reusada el agua tratada para el riego de áreas verdes, se eligió una planta paquete comercial con las siguientes características: longitud total 9.20 m, ancho 2.15 m, altura 2.25 m, capacidad nominal 80 m<sup>3</sup>/d, capacidad en las condiciones de operación 41.65 m<sup>3</sup>/d, ya que es la planta paquete que cubre los requerimientos de carga hidráulica y carga orgánica; una planta paquete que maneja un flujo inmediatamente inferior a 50 m<sup>3</sup>/d no tiene el área suficiente para el crecimiento biológico y lograr la depuración biológica que se requiere en este estudio
  
- ☛ Del capítulo nueve se puede decir que la instalación de una planta paquete que incluye un reactor biológico rotatorio para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico es factible ya que la inversión se recuperaría en aproximadamente 6 años y después de recuperar la inversión, el ahorro en consumo de agua potable sería equivalente a obtener recursos por 2.5 veces el costo inicial, con un ahorro en la vida útil del reactor de \$982,144.5 (utilidades de la inversión)
  
- ☛ En un estudio previo se propuso un sistema de tratamiento para llevar a cabo la depuración de las aguas residuales de la planta de pinturas, en dicho trabajo se sugiere el tratamiento de las aguas residuales sin llevar a cabo una separación de corrientes y se plantea un tratamiento en serie donde las aguas residuales se tratarían en el sistema fisicoquímico existente y posteriormente en un sistema biológico utilizando un reactor de discos biológicos rotatorios. En la tabla 10.3 se indican los valores obtenidos en dicho estudio y los resultados del presente trabajo.

**TABLA 10.3. COMPARACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO EN SERIE FISICOQUÍMICO BIOLÓGICO CON UN SISTEMA DE SEGREGACIÓN DE CORRIENTES Y TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE TIPO DOMESTICO**

PARÁMETRO	TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO BIOLÓGICO*	TRATAMIENTO BIOLÓGICO**
Flujo (m <sup>3</sup> /d)	50	35
DBO <sub>5</sub> influente (mg/L)	135	500
SST influente (mg/l)	120	400
Inversión inicial (\$)	308.775	448.580.25
Costo de operación (\$/mes)	699.35	647.28
Costo de operación (\$/m <sup>3</sup> )	0.47	0.62
Utilidades de inversión (\$)	1.711.050.58	982.144.50
Tiempo de recuperación de la inversión (años)	3.057	6.53

\* Valores reales del influente de la planta de tratamiento fisicoquímico existente

\*\* Valores máximos supuestos de agua residual de tipo doméstico

Comparando el sistema de tratamiento que se describe en este trabajo con el diseño propuesto en el trabajo previo donde se plantea el tratamiento de las aguas residuales generadas en la planta de pinturas, a través de un sistema en serie fisicoquímico-biológico (sin que exista una segregación), se observa que el costo de la planta de tratamiento biológico es menor en dicho estudio, aunque se maneja un flujo de 50 m<sup>3</sup>/d como influente y, el flujo que se maneja en el presente trabajo sea de 35.0 m<sup>3</sup>/d

- Lo anterior, se debe a las características del influente de cada una de las plantas de tratamiento biológico propuestas en estos estudios, ya que, sin segregar las corrientes de agua residual se presenta una concentración de demanda biológica de oxígeno igual a 135mg/L y 120 mg/L de sólidos suspendidos totales; en el presente estudio se plantea una segregación de corrientes de aguas residuales donde las características del influente del sistema de tratamiento biológico son 500 mg/L de demanda biológica de oxígeno y 400mg/L de sólidos suspendidos totales, por lo que se requiere un reactor biológico con un área total para el crecimiento biológico mayor para llevar a cabo la depuración biológica y en consecuencia con un costo mayor en el segundo caso (segregación de corrientes)
- De acuerdo a los datos presentados en la tabla 10.3, se observa que un tratamiento en serie fisicoquímico-biológico obtiene mayores utilidades de inversión que un sistema independiente de tratamiento de aguas residuales (segregación de corrientes). Los valores de utilidades de inversión y tiempo de recuperación de la misma deben tomarse con reserva, ya que esta evaluación no toma en cuenta el costo por el tratamiento de los lodos generados. Puede ser que el tratamiento y disposición de lodos afecte en los costos de operación, ya que el lodo generado en el sistema en serie puede ser potencialmente tóxico, por lo que un posible tratamiento es la incineración y disposición en lugares para tal efecto, lo que aumentaría el costo de operación
- En el caso de una segregación de corrientes, los lodos generados en un sistema de tratamiento biológico solamente necesitan un tratamiento anaerobio para su estabilización, y los lodos generados en el sistema fisicoquímico se manejarían como residuos potencialmente tóxicos, por lo que se requeriría de una disposición controlada; como las corrientes de proceso estarían separadas de las corrientes de tipo doméstico, el volumen a tratar en el sistema fisicoquímico sería menor y por lo tanto existiría una menor generación de lodos potencialmente tóxicos

## CAPÍTULO 11

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en este estudio, se plantean las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- ❖ El volumen de agua extraída del pozo artesiano es de 160.3 m<sup>3</sup>/d.
- ❖ El 33.1% (53 m<sup>3</sup>/d) de agua de suministro después de ser utilizada en las diferentes actividades que se realizan en la planta, puede ser recuperada en diferentes fosas de recolección de agua residual, puede ser tratada y reusada. El 31.3% (16.6 m<sup>3</sup>/d) del agua residual es de proceso y el 68.9% (36.5 m<sup>3</sup>/d) es de tipo doméstico.
- ❖ El 66.9% de agua de suministro se consume por evapotranspiración en el riego de áreas verdes, evaporación en torres de enfriamiento de pinturas y como parte del producto terminado.
- ❖ La racionalización de agua en el riego de áreas verdes, a través del riego en las primeras horas del día y poco antes de oscurecer, así como el disminuir el tiempo de riego, aportaría a la disminución del volumen extraído del pozo artesiano y en el costo por este concepto. La hora más apropiada para regar es entre las 4:00 y 8:00 de la mañana, ya que durante esas horas la dispersión provocada por el viento es baja y las pérdidas por evaporación son despreciables, otro horario recomendable es de 8:00 a 12:00 de la noche. Se recomienda que la profundidad mojada durante el periodo de riego sea de 15 cm. En las áreas con pendientes pronunciadas, no se debe aplicar una cantidad de agua mayor que aquella que puede ser absorbida por el suelo.

- ❏ Segregar las corrientes no compatibles, por un lado las de proceso y por otro las de tipo doméstico.
- ❏ Se recomienda utilizar las fosas más convenientes, de acuerdo con la estructura actual de los drenajes, para minimizar los costos de obra civil para modificarlos.
- ❏ Instalar redes de bombeo independientes a los sistemas de tratamiento fisicoquímico y biológico para aguas de proceso y de servicios (tipo doméstico), respectivamente.
- ❏ El sistema de tratamiento fisicoquímico puede depurar las aguas residuales de proceso ( $16.6\text{ m}^3/\text{d}$ ) y así cubrir parte del volumen de agua requerido en las torres de enfriamiento de pinturas, por lo que solamente se requiere extraer  $11.4\text{ m}^3/\text{d}$  para cubrir el volumen necesario para el sistema de enfriamiento.
- ❏ Las aguas residuales de servicios ( $35\text{ m}^3/\text{d}$ ) pueden ser tratadas con un sistema de tratamiento biológico, ya que este nivel de tratamiento cumple los requerimientos para el reuso del agua tratada en el riego de áreas verdes, debido a que se elimina la mayoría de la materia biodegradable (soluble o coloidal) del agua residual.
- ❏ Si se logra la racionalización del uso del agua para riego de áreas verdes, el volumen de agua residual tratado biológicamente cubre el volumen necesario para esta actividad, por lo que ya no se requeriría de la extracción de aproximadamente  $80\text{ m}^3/\text{d}$  para llevar a cabo el riego de áreas verdes.
- ❏ La selección del proceso de tratamiento (discos biológicos rotatorios) se debe a que maneja caudales bajos logrando un porcentaje alto de remoción de contaminantes biodegradables,

se requiere poca área de terreno para su instalación, pero sobre todo, por los bajos costos de operación y mantenimiento.

- ❏ Una planta paquete comercial con capacidad nominal de 80 m<sup>3</sup>/d, una capacidad en las condiciones de operación de 41.65 m<sup>3</sup>/d (0.482 L/s) y con las siguientes dimensiones 9.2m de longitud total por 2.15 m de ancho por 2.25 m de altura, logra obtener un efluente con 30 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 30 mg/L de sólidos suspendidos totales y 1,000 NMP/100mL de coliformes totales, por lo que se puede utilizar para el riego de áreas verdes
- ❏ El ahorro anual alcanzado con la segregación de drenajes y tratamiento del agua residual de tipo doméstico es de \$68,729.50/año y la recuperación de la inversión inicial (\$448,586.25) se logra en 6.56 años, teniendo ganancias durante el resto de la vida útil del equipo (20 años) de \$982,144.50 (218.94%)
- ❏ Con las medidas mencionadas en los párrafos anteriores, se extraerán solamente 66.8 m<sup>3</sup>/d de agua fresca, por lo que se dejaría de extraer 93.3 m<sup>3</sup>/d y se alcanzaría un ahorro del 58% en el suministro de agua a la planta
- ❏ Otro de los beneficios que se puede obtener de esta segregación es el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas en materia de descarga de agua residual a los sistemas de drenaje y alcantarillado y así evitar posibles multas o pagar altos costos por el volumen y composición de los efluentes descargados al drenaje municipal, debido a que las corrientes de agua residual segregadas tanto de proceso como de tipo doméstico son tratadas con sistemas adecuados para la eliminación de los contaminantes presentes en cada una de las corrientes.

- ☛ La empresa puede contribuir a la no contaminación del medio ambiente por lo que la comunidad estará satisfecha con tener una empresa que logra el desarrollo en la región (generación de empleos sin generar problemas de sanidad).
- ☛ El que la población conozca de los beneficios ambientales que la empresa realiza, promueve la aceptación de la misma y toma una mayor importancia sobre la empresa y sus productos.
- ☛ Además, se lograria una tranquilidad por parte de los empresarios ya que nunca será clausurada o cerrada parcialmente por contaminar el ambiente por descargas de agua residual
- ☛ Otro de los beneficios de este proyecto empresa institución de educación superior e investigación, es el de la formación de recursos humanos altamente calificados, ya que en este proyecto, cuya duración fue de prácticamente un año, se formaron cuatro ingenieros químicos, quienes, a través de su colaboración activa tuvieron la oportunidad de conocer la problemática real de una industria, las limitaciones de identificación, medición y caracterización de las líneas sanitarias y de proceso, las posibilidades de superar esas dificultades técnicas mediante el uso de herramientas "teóricas", así como tratar directamente con ingenieros de proceso, analistas, técnicos, obreros y personal administrativo de la propia empresa estudiada.
- ☛ Finalmente, se recomienda afinar el análisis económico por parte del personal especializado de la empresa cooperante con objeto de verificar la bondad de la opción de segreggar sus efluentes e instalar una planta biológica de tratamiento exclusiva para sus aguas residuales de servicios.

## BIBLIOGRAFÍA

- BELHATECHE, D. 1995. "Choose appropriate wastewater treatment technologies" Chemical Engineering Progress. Pp. 32-51.
- BONILLA, P. 1996. "Bacterias de sistemas de tratamiento de aguas residuales" Pub CyMA, Campus Iztacala-UNAM México, D.F. México
- CHÁVEZ, I. 1995. "Tratamiento de aguas residuales de alto contenido de materia orgánica biodegradable (Compasuchil) en un reactor de biodiscos a escala de laboratorio" Tesis Profesional Instituto Tecnológico de Tapachula Tapachula, Chis. México
- CORBITT, R. 1988. "Standard Handbook of Environmental Engineering" McGraw-Hill Book Co. EEUA Pp. 6.17-6.48
- DGCOH. 1982. "El sistema hidráulico del Distrito Federal. Un servicio público en transición" Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica Secretaría de Obras y Servicios. Departamento del Distrito Federal México, D.F. México. Pp. 11.5, 11.7-11.9
- DGCOH. 1987. "Criterios para sancionar la calidad físicoquímica biológica de las aguas renovadas" Pub. Secretaría de Obras y Servicios. Departamento del Distrito Federal. México, D.F. México
- DOF 1993. "NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal" Pub. Secretaría de Desarrollo Social. México, D.F. México. Pp. 114-119
- DOF. 1996. "Programa Hidráulico 1995-2000". Pub. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. México. Pp. 45 - 88.

- DURAN DE BAZUA, C. 1994. "Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso". Pub. PIQAYQA-FQ-UNAM. 5a. Ed. México, D.F. México. Pp. 46-54, 60, 141.
- ECKENFELDER, W.W. y O CONNOR, D.J. 1961. "Biological waste treatment". Pergamon Press Ltd. Nueva York, EEUUA. Pp. 2, 7, 10, 11, 188, 203-207, 221-224, 248.
- GARDUÑO, H. y ARREGUÍN, FELIPE. 1994. "Uso eficiente del agua". UNESCO. Montevideo, Uruguay. Pp. 82.
- JAMES, A. y EVISON, L. 1979. "Biological indicators of water quality". John Wiley and Sons. Londres, Gran Bretaña. Pp. 1-3, 1-11, 14-3, 14-4.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.L. 1995. "Uso de un simulador para el desarrollo de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos a nivel industrial". Tesis de Maestría, Facultad de Química, UNAM, México, D.F. México.
- METCALF y EDDY. 1991. "Wastewater engineering treatment, disposal, and reuse". Ed. McGraw-Hill. 3a. ed. EEUUA. Pp. 332,349,350-352,628-636,1125-1131, 133-134.
- MEXICANA GENERAL DE BOMBEO. 1996. "Bio-reactor AMDS". México, D.F. México.
- MONTGOMERY, J. 1976. "Water treatment principles and design". John Wiley and Sons. N.Y. EEUUA. Pp. 64, 308.
- NOYOLA, A. 1995. "Tratamiento de aguas residuales hospitalarias". Memorias del curso sobre tratamiento de aguas residuales hospitalarias. Pub. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. México, D.F. México.
- PETERS, M.S. y TIMMERHAUS, K.D. 1981. "Plant design economics for chemical engineers". McGraw-Hill. 3a. ed. Singapur. Pp. 147-176.
- RAMALHO, R.S. 1993. "Tratamiento de aguas residuales". Reverté. Barcelona, España. Pp. 34, 255, 495, 496.

SÁNCHEZ, M. 1997. "Estudio sobre el uso racional del agua en una planta de pinturas a través del tratamiento y reutilización de las aguas residuales" Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México, D.F. México.

THOMAS, E. y HIMMELBLAU, D M. 1988. "Optimization of chemical processes". McGraw-Hill Book Co EEUU. Pp. 6 17 - 6 48

URBINA, G 1990 "Evaluación de proyectos" McGraw-Hill Book Co 2a ed. México, D.F. México. Pp. 170-175,217-235