

148
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

Estudio Sobre el Uso Racional del Agua en una Planta de
Pinturas a Través del Tratamiento y Reutilización de sus
Aguas Residuales

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

Martín Mauricio } Sánchez Cortés



México, 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.	DURAN DOMÍNGUEZ MA. DEL CARMEN
Vocal	Prof.	TORRES BARRERA RODOLFO
Secretario	Prof.	LUNA PABELLO VÍCTOR MANUEL
1er. suplente	Prof.	CALDERÓN VILLAGOMEZ HILDA ELIZABETH
2do. suplente	Prof.	LOPEZ MÁRTINEZ JOSÉ LUIS

El tema se desarrolló en el Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM y en la Planta de Pinturas DuPont.

Asesor del tema:

Dra. Ing. Carmen Durán Domínguez



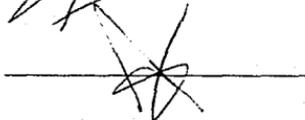
Supervisor Técnico:

Ing. José Rosales Oscos



Sustentante:

Martin Mauricio Sánchez Cortés



A MIS QUERIDOS PADRES :

**MARTIN V. SANCHEZ NICOLAS (Q.E.P.D.)
LUCILA CORTES RUIZ V. DE SANCHEZ**

**POR TODOS LOS CONSEJOS SABIOS QUE SIEMPRE
ME DIERON; TODO SU AMOR, CARIÑO, APOYO Y
COMPRESION PARA LOGRAR SER ALGUIEN EN LA
VIDA.**

A MIS HERMANOS :

CLAUDIA Y GERARDO

**POR TODOS LOS MOMENTOS DE TRISTEZA Y
ALEGRIA QUE HEMOS PASADO JUNTOS.**

RECONOCIMIENTOS

Un especial agradecimiento a la Dra. Carmen Durán Domínguez de Bazúa, Coordinadora Global del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental, por el apoyo, comprensión y facilidades que en todo momento otorgó para la realización de este proyecto de investigación.

Se reconoce el apoyo brindado por la empresa cooperante para la realización de este estudio, en especial al Ing. Isaías Nuñez.

Asimismo un agradecimiento a la empresa Mexicana General de Bombeo y, especialmente, al Ing. Rafael Solís Gómez por el apoyo técnico brindado en la realización de la evaluación económica.

Un agradecimiento al I.Q. José Rosales Oscós por todo el apoyo técnico y moral brindado para la realización de este trabajo.

Un reconocimiento al M.C. José Luis López por la gran disponibilidad y ayuda que brindó en la parte de la simulación llevada a cabo con el programa ENPRO.

Se agradece a la Facultad de Química de la UNAM y, en particular, al Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental por toda la infraestructura y apoyo técnico brindado en todo momento para la realización de este trabajo de investigación.

INDICE

RESUMEN/ABSTRACT	1
I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVOS	6
III. METAS	6
IV. METODOLOGIA DE TRABAJO	7
V. DESARROLLO DE ACTIVIDADES	8
V.1 ACTIVIDAD 1 Levantamiento de la red de suministro de agua	8
V.1.1 Relación de equipo de servicios sanitarios y aseo personal	9
i. Aseo personal	9
ii. Servicios sanitarios	9
V.2 ACTIVIDAD 2. Medición y estimación de flujos	9
A) Medición y estimación de flujo de regaderas de seguridad y lavajeros	11
B) Medición y estimación de flujos de regaderas para aseo personal	12
C) Medición y estimación de flujos en WCs, lavabos y mingitorios	12
D) Medición y estimación del volumen de agua para riego de áreas verdes	14
E) Área de pintura base agua	14
F) Área de proceso	15
G) Agua pluvial	17
H) Comparación entre estimaciones previas y este trabajo	18
V.3 ACTIVIDAD 3. Levantamiento de la red de distribución para el circuito de agua de enfriamiento	20

V.4 ACTIVIDAD 4. Levantamiento de la red de drenajes de la planta	20
V.5 ACTIVIDAD 5. Medición de las descargas de agua residual	21
V.6 ACTIVIDAD 6. Muestreo y análisis de descargas de aguas residuales	22
V.7 ACTIVIDAD 7 -Descripción de los procesos del tratamiento biológico	28
A.-Tratamiento primario	29
B.-Tratamiento secundario	29
B.1.-Reactor biológico rotatorio	30
B.2.-Clarificador secundario	31
C.- Tratamiento terciario	31
V.8 ACTIVIDAD 8. Simulación del proceso de tratamiento biológico de aguas residuales con el programa ENPRO	32
V.8.1 Simulación para las condiciones actuales de la planta	33
VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA	35
VI.1 Cotización comercial	35
VI.2 Descripción técnica	36
VI.3 Descripción de las unidades del tratamiento biológico	38
A.-Tratamiento primario	38
B.-Tratamiento secundario	39
C.-Oxidación química (cloración)	39
D.-Sistema de monitoreo continuo del efluente	40
E.-Tablero de control	40
VI.4 Costos y consumos	42
1.-Energía eléctrica	42
2.-Tabletas de cloro	42
3.-Costos de lubricantes	42
4.-Mano de obra	43
5.-Servicios regulares por terceros	44
6.-Resumen del costo total	44
VI.5 Justificación económica del tratamiento de las aguas residuales	44

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
VIII. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	48
VIII.1 Propuestas de reducción de uso del agua de suministro	48
VIII.2 Propuesta de reuso de aguas residuales tratadas	48
VIII.3 Propuestas a futuro	49
IX. CONCLUSIONES FINALES	51
X-BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXO A Diagramas	55
ANEXO B Información de campo	63
ANEXO C Gráficas de las mediciones en fosas de recolección de aguas residuales	71
ANEXO D Datos de las simulaciones con el programa ENPRO	89

RESUMEN

Dado que una de las tareas sustantivas de las instituciones de investigación y educación superior es la de difundir el conocimiento, a través del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (PIQAYQA-FQ-UNAM), se concertó un programa específico de trabajo con una planta industrial para estudiar el uso más racional del agua (uso más eficiente del agua) en su sector de pinturas. De acuerdo con los objetivos iniciales del proyecto, que la empresa en estudio planteó a la UNAM, de disminuir el volumen total de agua extraída del pozo artesiano hasta un 60% de los niveles actuales, de obtener una mejor calidad de agua en el sistema de tratamiento de aguas existente para su reuso, de diseñar un programa de uso eficiente del agua y de asegurar el cumplimiento de los límites establecidos en la normatividad ambiental mexicana para descargas de aguas residuales, el PIQAYQA planteó como propuesta para disminuir el consumo de agua de suministro lo siguiente: un programa de racionalización del recurso basado en la concientización del personal, en cambios de mobiliario y accesorios sanitarios y en el reuso de las aguas residuales o usadas o servidas en el proceso (sobre todo en los sistemas de enfriamiento) y para el riego de las áreas verdes. El agua de suministro proviene de un pozo artesiano y se gastan en riego de áreas verdes, 77 metros cúbicos por día; en servicios (cafetería y baños), 38 metros cúbicos por día; en el proceso, 17 metros cúbicos por día; en las torres de enfriamiento de agua, 28 metros cúbicos por día y para producir pinturas base agua, 1 metro cúbico por día. La estrategia de este trabajo está basada en lo siguiente: Existe una planta de tratamiento fisicoquímico de aguas residuales y se plantea la adición de un sistema de tratamiento biológico aerobio en serie con ella. Con esta opción se obtiene una reducción del consumo de agua de suministro de hasta un 65.4%, mejorando los objetivos esperados por la empresa en estudio; ya que el agua tratada se emplearía para riego de áreas verdes y en el sistema de enfriamiento, eliminando el 48% del agua proveniente del pozo que actualmente se utiliza para riego de áreas verdes.

ABSTRACT

One of the important objectives of the institutions for research and education is the dissemination of the knowledge generated within. In the National Autonomous University of Mexico, particularly in its Faculty of Chemistry, and within this school, its Program for Environmental Chemical Engineering and Chemistry (PECEC-FC-NAUM), a cooperation agreement to carry out a specific research project was signed between a paintings industrial plant and PECEC to study a more rational use of water (water efficiency program). The plant personnel suggested the following goals: A reduction up to 60 per cent of the present water consumption, and a specific study of the present treatment facilities (physicochemical wastewater treatment plant) to improve the treated wastewater characteristics in order to comply with Mexican regulations and to reuse it within the process. The PECEC personnel, after carrying out this study, gave three lines of advise: to follow up a rationalization program based on the users consciousness of the high value of this commodity, the changing of actual sanitary facilities and fixtures to reduce overall water consumption, and the further treatment of wastewaters to reuse them in the process facilities and for irrigation of green areas. Irrigation water daily consumed is about 77 cubic meters per day; sanitary and cafeteria facilities use up to 38 cubic meters per day; process itself uses about 17 cubic meters per day; water cooling towers make up water is about 28 cubic meters per day, and the water-base paint plant consumes one cubic meter per day. The strategy used in this project is based upon the following: There is an existing wastewater treatment plant using physical-chemical methods to remove suspended and dissolved materials. Its efficiency, especially to remove dissolved organics coming from sanitary facilities and the cafeteria, is low, and thus, the addition of a biological wastewater treatment facility in series will reduce these organics content. After calculating the facility and devising the operation of the two plants, and the efficient use of water, this option may render a reduction of 65.4 per cent in the water daily consumption fully complying with the Mexican regulations.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua se genera por el desarrollo de las actividades de la población, distinguiéndose la industria química por el riesgo de incorporar sustancias tóxicas en los cuerpos de agua.

En este país, hoy en día, el manejo del agua adquiere mayor importancia, independientemente de las características físicas, sociales y económicas que existen, se reconoce que la disponibilidad del agua de calidad adecuada para los diferentes usos, se torna cada vez más escasa. Al mismo tiempo, los ecosistemas acuáticos de los cuales depende la pirámide alimentaria del planeta se deterioran con mayor rapidez, estos, casi siempre son cuerpos receptores directos de las aguas usadas o residuales industriales, por lo cual su conservación adquiere gran relevancia.

Todos los desechos industriales afectan en alguna forma la vida normal de las corrientes. Cuando los niveles de contaminantes rebasan ciertos límites, hacen a estas aguas inadecuadas e inaceptables para "su mejor uso". Esto implica que están contaminadas y no pueden ser aprovechables, por ejemplo, para uso potable, recreativo, acuícola, agrícola y aún para ciertos procesos industriales.

Desde los albores de la revolución industrial, este sector se ha deshecho de sus residuos mediante su arrastre por disolución o suspensión en agua, vertiendo éstas en algún cuerpo receptor sin tratamiento alguno. Obviamente, al aumentar el número de industrias y de los volúmenes de producción y al haber una disminución relativa de los caudales de los ríos, debido a un uso más intensivo del agua, el problema de los residuos industriales se ha vuelto verdaderamente alarmante.

Estas descargas de desechos líquidos industriales tienen una cantidad y diversidad de contaminantes que dependen del proceso, siendo posible minimizar la cantidad de desechos tóxicos al utilizar tecnologías limpias, es decir, que evitemos producir el ó los agentes contaminantes. Generalmente, se considera el uso del agua para producir una unidad de producto y la cantidad de agua que queda integrada al producto. Las industrias que no integran agua a sus productos generan mayores cantidades de desechos líquidos, generalmente acuosos. Es claro, que un objetivo primordial de cualquier industria es alcanzar la calidad total y ésta se encuentra directamente relacionada con el consumo de materias primas. Si el agua se considera una materia prima, mientras menor sea su consumo, más eficiente será la planta.

Como la mayor parte de las industrias en México no cuentan con departamentos o unidades de investigación y desarrollo, cada vez dependen más de las instituciones de investigación y educación superior para que colaboren con ellos en la resolución de esta problemática. La UNAM, que es una corporación pública u organismo descentralizado del Estado, (dotado de plena capacidad jurídica, de conformidad con su Ley Orgánica del 6 de enero de 1945), tiene entre sus funciones impartir educación superior y realizar investigaciones, principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, así como otorgar los beneficios de la cultura. Busca proyectar eficazmente a la sociedad, los desarrollos científicos y tecnológicos de sus investigaciones, con el propósito de impulsar la calidad académica de los profesores, técnicos académicos y promover la formación de recursos humanos con alto nivel de preparación. Para el caso del área de la Química e Ingeniería Química Ambientales, se creó un Programa interdisciplinario en julio de 1989 y, el cual, a través de sus actividades de investigación, coadyuva en la formación de recursos humanos y en el desarrollo de paquetes tecnológicos y de apoyo a los sectores industrial, educativo, de servicios y gubernamental.

Con base en esto, se firmó un convenio de concertación entre la Facultad de Química de la UNAM, donde se encuentra asentado que este Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la UNAM (PIQAyQA-UNAM) y la empresa en estudio, para fortalecer la interrelación de las instituciones educativas y los organismos del sector productivo, tanto para transmitir los conocimientos, como para vincular las actividades 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 ambiental y de la ingeniería química ambiental.

El proyecto específico, objeto de este trabajo se refiere a la solicitud de la empresa cooperante de realizar un estudio sobre el uso más racional del agua en sus instalaciones, así como la optimización de su sistema actual de tratamiento de aguas usadas para poder reusarlas y reducir el consumo de agua de pozo en más de un 60%.

Esta empresa produce una amplia gama de productos químicos, los cuales se distribuyen en dos plantas.

La primera, llamada de pinturas, produce esmaltes acrílicos y alquidálicos, lacas acrílicas y transparentes, esmaltes de poliuretano y epóxicos, compuestos primarios acrílicos y alquidálicos, pinturas vinílicas, "thinners" (adelgazadores), resinas acrílicas, alquidales y

poliésteres y especialidades químicas (catalizadores para pinturas, "plastres" de nitrocelulosa, pastas para pulir, teflón líquido).

La segunda, conocida como planta de plásticos, produce resina acetálica con carga de fibra de vidrio, "DELRIN" y "nylon" grado industrial reforzado con fibra de vidrio, "ZYTEL".

La problemática enfrentada en esta planta puede resumirse como sigue: De acuerdo a su información, el consumo aproximado de agua (de pozo) es de 144.1 m³/día, la cual se encuentra distribuida de la siguiente forma :

- *56.00 % Agua para uso en servicios (baños y cafetería)
- *23.00 % Agua de repuesto por evaporación
- *12.00 % Agua para producción
- *7.00 % Agua para purgas y limpieza en áreas de proceso
- *2.00 % Agua para riego

* porcentajes obtenidos por la empresa.

Dado que es incierto el tiempo de vida del manto acuifero, que existe un desperdicio no cuantificado del recurso, debido a que no existe segregación de los efluentes industriales y de servicios, el agua residual mixta resultante contiene, tanto material biodegradable proveniente de baños y cafetería como de material tóxico proveniente del proceso y de las purgas de los sistemas de enfriamiento, la depuración de estas aguas no es muy eficiente en el sistema actual con el que cuenta la planta, que emplea métodos físicos y químicos.

Por otro lado, su actual reuso presenta características incrustantes por la cantidad de iones presentes que, en cuanto encuentran condiciones de saturación, precipitan y, por la cantidad de materia orgánica disuelta que no ha sido removida en el sistema fisico-químico, su uso en el sistema de enfriamiento, promueve el desarrollo de algas, bacterias y otros organismos en las superficies de los sistemas de enfriamiento, coadyuva en los fenómenos de incrustación en los equipos y favorece la generación de mal olor por procesos de anaerobiosis.

Por ello, con base en esta problemática, se plantearon para este programa de trabajo, los siguientes objetivos y metas :

II OBJETIVOS

1. Ofrecer opciones para disminuir el volumen de agua extraída del pozo de un 30 a 40% (ya que era más conservador y alcanzable que el solicitado por la empresa cooperante de un 60%).
2. Plantear opciones para obtener una mejor calidad de agua en el sistema de tratamiento de aguas existente
3. Diseñar un programa de uso eficiente del agua en todas las áreas de la planta
4. Proponer una estrategia que permita a la empresa asegurar el cumplimiento de los límites establecidos en la normatividad ambiental mexicana para descargas de aguas residuales.

III- METAS

1. Establecer los criterios necesarios para evaluar objetivamente los consumos de agua de suministro en cada uso específico
2. Llevar a cabo una caracterización de las corrientes de aguas residuales en la planta.
3. Definir el proceso de tratamiento biológico para las aguas residuales de la planta
4. Identificar el ó los puntos viables que permitan la reutilización del agua tratada
5. Definir la viabilidad de las propuestas que permitan cumplir con los objetivos propuestos.
6. Realizar una evaluación económica del proceso de tratamiento biológico que se plantea en este trabajo

Con estos objetivos y metas en mente, se planteó la siguiente metodología de trabajo.

IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En la tabla IV-1 se encuentran indicadas las distintas actividades en el orden en que fueron desarrolladas en este estudio.

Tabla IV-1. Actividades a desarrollar en el presente estudio

Actividad
1.- Levantamiento de la red de suministro de agua
2.- Medición y estimación de flujos de suministro a servicios sanitarios, cafetería y regaderas
3.-Levantamiento de la red de distribución para el circuito de agua de enfriamiento
4.- Levantamiento de la red de drenajes
5.- Medición de flujos en fosas de recolección
6.- Toma de muestras en el sistema de drenajes
7.- Análisis de las muestras
8.- Simulación para dimensionamiento de equipo
9.- Evaluación económica
10.- Análisis de resultados
11.- Propuestas de solución

Estas once actividades permitirán evaluar las diferentes posibilidades con viabilidad técnica y económica para alcanzar los objetivos y metas esbozados.

En el anexo A (diagrama A.1) se encuentra el diagrama de la planta en estudio.

V. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

A continuación se describen las actividades realizadas.

V.1 ACTIVIDAD 1: LEVANTAMIENTO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA

Consistió en establecer un conocimiento claro de la red actual de distribución de agua de la planta, así como las características de los procesos y/o servicios en donde se emplea el recurso. Con base a lo anterior, se desarrolló la estrategia de medición de flujos y/o verificación de registros de consumo para el establecimiento del balance hidráulico detallado. Se estableció el consumo real actual de agua en cada área, ligado al servicio que suministra.

Mediante la estimación de los volúmenes de agua descargada así como de la determinación de sus características, se busca establecer las medidas obvias de reducción en el consumo del recurso, tratamiento y reuso.

Con base en la información proporcionada por la planta en estudio y, a través de recorridos, se realizó el reconocimiento de las instalaciones.

Las actividades comprendieron:

- Reconocimiento físico de los diferentes ramales de distribución de agua
- Verificación de las características de la tubería, diámetros y localización
- Identificación de usos del agua en cada área
- Tipo de procesos y/o servicios que la emplean
- Usos del agua en la cafetería de la planta
- En el caso de servicios sanitarios: número y características de fluxómetros, depósitos, mingitorios, lavabos, regaderas, grifos (válvulas), etc
- En las instalaciones de seguridad: número y características de lavaojos y regaderas de emergencia, pruebas que se realizan, periodicidad, etc
- Entrevistas con el personal de la planta en general
- Comparación con diagramas y planos suministrados
- Mediciones preliminares de gastos de descarga en regaderas y lavaojos de emergencia.

V.1.1 Relación de equipo de servicios sanitarios y aseo personal

i. Aseo personal

En relación a los servicios de regaderas de aseo personal, se verificó que existe un total de 63 regaderas distribuidas por área, como se observa en la tabla 1.1.

TABLA 1.1. DISTRIBUCIÓN DE REGADERAS PARA BAÑO PERSONAL POR ÁREA

ÁREA	Núm. DE REGADERAS
Limpieza y cafetería	5
Pinturas	14
Laboratorio de pinturas	1
Plásticos	4
Mantenimiento	10
"Refinish"	1
Caldera	1
Dibujante	1
Supervisores	3
Vigilancia	1
Intermedios	18
Bodega de producto terminado	4
TOTAL	63

ii. Servicios sanitarios

Se verificó y contabilizó el número de excusados, lavabos y mingitorios en las diferentes áreas, así como el tipo de válvula utilizada para accionar la descarga de agua (Anexo A, diagrama A.2). Los resultados se muestran en la tabla 1.2.

V.2 ACTIVIDAD 2: MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE FLUJOS

Se realizaron mediciones directas de flujo en las áreas de interés (donde no fue requerido equipo de medición sofisticado). Con esta actividad se integra y refina el balance hidráulico y se establecen las medidas obvias de reducción en el consumo así como la estrategia de tratamiento y reuso.

TABLA 1.2. DISTRIBUCION DE SANITARIOS, MINGTORIOS Y LAVABOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS

ÁREA	Núm. DE EXCUSADOS (TIPO DE VÁLVULA)	Núm. DE LAVABOS (TIPO DE VÁLVULA)	Núm. DE MINGTORIOS (TIPO DE VÁLVULA)
Baños y sanitarios pinturas (personal sindicalizado)	12 Flujómetro de palanca	10 bola	12 bola
Baños y sanitarios limpieza y cafetería	5 Flujómetro de palanca	plomo	bola
Sanitarios oficinas generales	5 Flujómetro de palanca	1 globo	2 globo 1 bola
Sanitarios de molinos de bolas y arena (intermedios)	1 depósito	1 economizadora	1 bola
Sanitario II.ALP.	1 depósito	1 globo	1 globo
Baños y sanitarios de laboratorio de pinturas	6 Flujómetro de palanca	5 economizadora	Flujómetro de palanca
Sanitarios oficinas plásticos	1 depósito 1 Flujómetro de palanca	3 globo	2 bola
Baños y sanitarios plásticos (personal sindicalizado)	3 Flujómetro de palanca	3 economizadora	2 bola
Sanitarios oficinas de mantenimiento	2 Flujómetro de palanca	1 economizadora	1 globo
Baños y sanitarios mantenimiento (personal sindicalizado)	3 Flujómetro de palanca	2 globo	Flujómetro de palanca
Laboratorio de "Refinish"	1 depósito	1 globo	0
Baños y sanitarios caldera	1 Flujómetro de palanca	1 globo	0
Baños y sanitarios para vigilancia	1 depósito	1 globo	1 bola
Sanitarios de instrumentación	2 Flujómetro de palanca	1 globo	1 bola
Sanitarios de costos	1 depósito	1 globo	0
Baños y sanitarios de intermedios	3 Flujómetro de palanca	3 bola	2 bola
Sanitario oficina del dibujante	1 depósito	1 globo	0
Sanitario escarros humanos	2 depósito	2 globo	1 bola
Baños y sanitarios para supervisores	3 Flujómetro de pedal	4 globo	3 Flujómetro de pedal
Baños y sanitarios de bodega de producto terminado	2 Flujómetro de palanca	2 globo	2 bola
Sanitario de transportistas	1 Flujómetro de palanca	1 globo	0
Sanitario de compras	1 depósito	2 globo	1 bola
Sanitario del consultorio	1 depósito	1 globo	0

Las siguientes actividades (Tabla 2.1) fueron realizadas para cuantificar el volumen de agua de servicio que se consume diariamente en operaciones intermitentes y, posteriormente, obtener un gasto total.

TABLA 2.1. PROGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA ESTIMACIÓN Y MEDICIÓN DE FLUJOS INTERMITENTES

PROCEDIMIENTO
A) Medición y estimación del flujo de descarga de regaderas y lavaojos de seguridad en distintos puntos de la planta (que se prueban en forma diaria para garantizar su buen funcionamiento en caso de emergencia)
B) Medición y estimación de flujos de regaderas para baño personal
C) Medición y estimación de flujos en excusados, lavabos y mingitorios
D) Medición y estimación del volumen de agua para riego de áreas verdes
E) Área de pintura base agua
F) Áreas de proceso
G) Agua pluvial
H) Comparación entre estimaciones previas y este trabajo.

A) Medición y estimación de flujo de regaderas de seguridad y lavaojos

En la tabla 2.2. se indica el flujo de descarga total de las regaderas de seguridad y lavaojos, tomando como base en la medición un tiempo de 15 segundos (que es el tiempo que se deben de purgar al día de acuerdo a los estándares de seguridad que maneja esta planta). El flujo se midió en distintos puntos de la planta (Anexo A, diagrama A.3), seleccionando regaderas y lavaojos al azar y repitiendo la medición tres veces en cada una para, posteriormente, calcular un promedio con los resultados obtenidos (Anexo B, tabla B.1).

TABLA 2.2. MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DEL FLUJO TOTAL DE AGUA CONSUMIDA EN REGADERAS DE SEGURIDAD Y LAVAOJOS POR "PURGA"

ACTIVIDAD	NÚMERO DE UNIDADES	Núm. DE PURGAS AL DÍA	FLUJO DE DESCARGA AL DÍA (L/15 seg)	FLUJO TOTAL DE AGUA GASTADA (L/d)
Regadera de seguridad	38	1	41.7	1,584.6
Lavaojos	39	1	6.1	236.9
TOTAL	-	-	-	1,821.5

B) Medición y estimación de flujos de regaderas para aseo personal

En la tabla 2.3 se muestra el número de usuarios de regaderas por departamento y el flujo total de agua descargada durante su aseo personal. Tomando como base un flujo de 0.105 L/seg (el cual es un promedio que se obtuvo de mediciones de flujo en varias regaderas (Anexo B, tabla B.2), así como una duración de 10 minutos por baño y, suponiendo un baño diario, se obtuvieron los datos allí informados.

TABLA 2.3. PERSONAL SINDICALIZADO QUE HACE USO DE LAS REGADERAS PARA ASEO PERSONAL

ÁREAS	Núm. DE USUARIOS	FLUJO TOTAL (L/d)
Limpieza y cafetería	32	1,996.80
Pinturas	146	9,110.40
Plásticos	22	1,372.80
Mantenimiento	42	2,620.80
Caldera	3	187.20
Dibujante	1	62.40
Vigilancia	12	748.80
Intermedios y "Refinish"	52	3,244.80
Bodega de producto terminado	17	1,060.80
* Otros (personal no sindicalizado)	10	624.00
TOTAL	337	21,028.80

* NOTA: Se considera que, del total del personal no sindicalizado (166), sólo 10 hacen uso del servicio de regaderas (información proporcionada por el área de servicios y de recursos humanos).

C) Medición y estimación de flujos en excusados, lavabos y mingitorios

En la tabla 2.4 se muestra el volumen de agua consumida al día en excusados, lavabos y mingitorios con base en el número de usuarios. El número de usuarios de mingitorios se estimó de acuerdo a los datos proporcionados por el área de servicios y recursos humanos, así como de las visitas realizadas a las áreas donde se proporcionan los servicios sanitarios.

TABLA 2.4. ESTIMACIÓN DEL FLUJO TOTAL EN EXCUSADOS, LAVABOS Y MINGITORIOS

AREA	Núm. DE USUARIOS	FLUJO TOTAL EN EXCUSADOS (L/d)	FLUJO TOTAL EN LAVABO (L/d)	Núm. DE USUARIOS DE MINGITORIOS	FLUJO TOTAL EN MINGITORIOS (L/d)	FLUJO TOTAL POR AREA (L/d)
Baños y sanitarios pinturas (personal sindicalizado)	146	1,971	525.6	146	1,489.2	3,985.8
Baños y sanitarios limpieza y cafetería	32	823.5	80.40	3	30.6	934.50
Sanitarios oficinas generales	14	297	40.80	6	61.2	399
Sanitarios de molinos de bolas y arena (intermedios)	3	81	10.8	3	30.6	122.4
Sanitario H.M.P.	3	81	10.8	3	30.6	122.4
Baños y sanitarios de laboratorio de pinturas	18	432	48	6	81.6	561.6
Sanitarios oficinas plásticas	5	94.5	15.6	3	30.6	140.7
Baños y sanitarios plásticos (personal sindicalizado)	22	297	79.2	22	224.4	600.6
Sanitarios oficinas de mantenimiento	8	108	28.8	8	81.6	218.4
Baños y sanitarios mantenimiento (personal sindicalizado)	42	567	151	42	428	1,146
Laboratorio de "Refinish"	5	94.5	8.4	0	0	102.9
Baños y sanitarios calderas	3	121.5	10.8	0	0	132.3
Baños y sanitarios para vigilancia	12	162	14.4	12	122.4	298.8
Sanitarios de instrumentación	6	81	21.6	6	61.2	163.8
Sanitarios de costos	3	81	7.2	0	0	88.2
Baños y sanitarios de intermedios y "Refinish"	52	702	62.4	52	530.4	1,294.8
Sanitario oficina del dibujante	2	81	7.2	0	0	88.2
Sanitario recursos humanos	7	135	21.6	4	40.8	197.4
Baños y sanitarios para supervisores	15	202.5	54	15	153	409.5
Baños y sanitarios de bodega de producto terminado	17	229.5	61.2	17	173.4	464.1
Sanitario de compras	10	189	31.2	6	61.2	281.4
Sanitario de ventas	5	202.5	18	0	0	220.5
Sanitario del consultorio	2	162	72	0	0	234
TOTAL	432	7,195.5	1,311.4	354	3,630.8	12,207.30

Los resultados anteriores se obtuvieron suponiendo:

- 1 descarga por hombre al día en excusados

- 2 descargas por mujer al día en excusados
- 3 descargas por hombre al día en lavabos
- 2 descargas por mujer al día en lavabos
- 2 descargas por hombre al día en mingitorios
- El volumen por descarga de excusados es 13.5 litros (Anexo B, tabla B.3)
- El volumen por descarga de mingitorios es de 5.1 litros (Anexo B, tabla B.4)
- El volumen por cada lavado de manos es de 1.2 litros (Anexo B, tabla B.5)

En la tabla 2.5 se indican los valores de flujo estimados para agua de usos sanitarios (con características de tipo doméstico, ya que es de baños, mingitorios y cafetería).

TABLA 2.5. FLUJOS MEDIDOS Y ESTIMADOS DE AGUA DOMÉSTICA

ÁREA	FLUJO TOTAL (L/d)
Excusados, lavabos y mingitorios	12,207.30
Regaderas de aseo personal	21,028.80
Cafetería	4,400.00
TOTAL	37,636.10

D) Medición y estimación del volumen de agua para riego de áreas verdes

Esta actividad consistió en entrevistar a la persona encargada del riego de todas las áreas verdes que existen en la planta, la cual indicó la manera en que lleva a cabo su actividad, ya sea mediante el uso de mangueras ó de aspersores. También se estableció el tiempo que se emplea para regar cada área verde de la planta y la frecuencia con que lo realiza. Para poder determinar el volumen de agua que se gasta en esta actividad fue necesario medir el flujo de descarga, tanto de mangueras como de aspersores. La tabla 2.6 contiene la información obtenida.

E) Área de pintura base agua

Esta actividad se llevó a cabo como parte del balance de consumo diario de agua en la planta. Se investigó la producción de cuatro meses (enero, marzo, abril, mayo de 1995) y conociendo que el 40% es agua, se obtuvo un promedio diario del volumen de agua necesaria para dicha actividad (se consideró 1 mes = 30 días):

Consumo de agua diario para la producción de pintura base agua = 1,238.47 L/d

F) Áreas de proceso

Mediante los recorridos y las entrevistas se obtuvo información de los usos que se le dan al agua en las distintas áreas de proceso que existen en la planta (Anexo A, diagrama A.4). También se pudo determinar el destino final de las aguas residuales que se generan en estas áreas. De esta forma se tiene un panorama más amplio de cuáles son los contaminantes más importantes que se arrastran con las aguas usadas y, en consecuencia, proponer el tipo de tratamiento más adecuado para este tipo de aguas residuales. En la tabla 2.7 se presenta la información obtenida en las distintas áreas de proceso que existen en la planta.

TABLA 2.6. FLUJO GASTADO EN RIEGO PARA CADA ÁREA VERDE DE LA PLANTA

ÁREA	TIPO DE RIEGO	FLUJO (L/h)	TIEMPO DE RIEGO (h/d)	FLUJO GASTADO (L/d)
Jardín principal	aspersor (a)	1,584	3.5	5,544
	aspersor (b)	720	3.5	2,646
Prados en el área del tanque elevador	aspersor de tubo (a)	1,944	1	1,944
	aspersor de tubo (b)	1,944	1	1,944
Prados a un lado de la sala de entrenamiento	aspersor de tubo	1,944	0.333	648
Prados frente a comedor y cafetería	aspersor (a)	720	1	720
	aspersor (b)	720	1	720
Prados que rodean a comedor	manguera	2,916	2	5,832
Prados a un lado de recursos humanos	manguera	2,880	2	5,760
Prados enfrente de mantenimiento	manguera	2,916	0.16	486
Prado enfrente de laboratorio de "Refrinsh"	aspersor	792	1.5	1,188
Prados en el área del polvorín y la fuente	aspersor	792	1.5	1,188
Prados en el área de compresas	aspersor	792	2	1,584
Prado a la entrada del terreno frontal	aspersor de tubo	1,512	4	6,048
Prado a lado derecho de PPQ	aspersor	756	4	3,024
Prados entre PPQ y CEM	manguera	1,584	3	4,752
Prados entre PPQ y CEM	3 aspersores	540	4	6,480
Prados del CEM	aspersor	792	4	3,168
Prados de la cancha de "football" (se riegan cada 2 meses)	HD	792	0.1166	92.4
Prados atrás de CCD (se riegan cada 2 meses)	HD	792	0.1166	92.4
Prados del CCD (se riegan cada tercer día)	aspersor	792	1.333	1,056
	manguera	2,916	1	2,916
Prados enfrente de CCD	aspersor de tubo	1,512	4	6,048
Prados a la derecha de la oficina de vigilancia que está desocupada	aspersor de tubo	1,728	4	6,912
Prados a la izquierda de la oficina de vigilancia que está desocupada	manguera	1,980	3	5,940
VOLÚMEN TOTAL (L/d)		~6,732.8		

Nota:

PPQ Pruebas de productos químicos, CEM: Centro de entrenamiento México, CCD Centro corporativo de distribución

TABLA 2.7. USOS DEL AGUA Y DESTINO FINAL DE AGUA UTILIZADA EN ÁREAS DE PROCESO

ÁREA	USOS	FLUJO GENERADO (L/d)	DESTINO
Línea 7	Limpieza	120	drenaje
Reactores	Se genera agua en la reacción como subproducto	1,000	fosa de sedimentación
Cuarto de bombas de solventes	Limpieza	120	drenaje
Molinos de bolas	Lavado de los molinos	ver fosa de sedimentación	tambores
Calentadores de aceite	Limpieza	120	drenaje
Tanques de mezcla y envasado	Lavado de tanques	ver fosa de sedimentación	tambores
Reactor piloto	Limpieza	120	drenaje
Cuarto de lavado de láminas	Lavado de láminas	11	tambores
Torres de enfriamiento de agua del área de pinturas	Agua de repuesto	28,000	atmósfera
Purgas de torres de enfriamiento área de pinturas	Agua de limpieza	5,000	drenaje
Envasado	Limpieza	120	drenaje
Mantenimiento	Limpieza	120	drenaje
Rampa de descarga de materia prima	Limpieza	120	drenaje
Bodega de materia prima	Limpieza	120	drenaje
Molinos de arena	Limpieza	120	drenaje
Cuarto de lavado de mascarillas	Lavado de mascarillas	210	drenaje
"E-COAT"	Agua de retrolavado	512	drenaje
Fosa de sedimentación	Recibe el agua de tambores de otras áreas de proceso	200	drenaje
Caldera	Para regeneración del sistema de suavización y en purgas	6,758	drenaje
"Refinash"	En cabinas de aplicación y lavado de material de laboratorio	ver fosa de sedimentación	tambores y drenaje
Plásticos	Para agua de enfriamiento y se genera agua en algunos procesos	No se conoce	fosa de sedimentación en el área de plásticos

Nota: para la limpieza se utilizan 2 cubetas de 20 litros por turno

El balance hidráulico preliminar, el cual considera el agua suministrada a servicios sanitarios, aseo personal y dispositivos de emergencia, etc, refleja los resultados asentados en la tabla 2.8.

TABLA 2.8. FLUJO TOTAL DEL SUMINISTRO DE AGUA DE SERVICIOS SANITARIOS, REGADERAS, DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD (EMERGENCIAS), RIEGO Y ÁREAS DE PROCESO

ÁREA	FLUJO TOTAL (L/d)	PORCENTAJE (%)
A) Medición y estimación del flujo de descarga de regaderas de seguridad y lavaojos en distintos puntos de la planta	1,821.5	1.13
B) Medición y estimación de flujos de regaderas para baño personal	21,028.80	13.13
C) Medición y estimación de flujos en excusados, lavabos y mingitorios	12,207.30	7.63
D) Cafetería	4,400.00	2.75
E) Medición y estimación del volumen de agua para riego de áreas verdes	76,732.80	47.89
F) Área de pintura base agua	1,238.47	0.78
G) Áreas de proceso		
Limpieza	2,501	1.56
Purgas de las torres de enfriamiento	12,270	7.66
Pérdidas por evaporación en sistemas de enfriamiento	28,000	17.47
TOTAL	160,199.87	100.00

G) Agua pluvial

La planta de pinturas se encuentra ubicada en la zona de Tlalnepantla donde existen grandes precipitaciones de lluvia, por lo que en épocas en que llueve (normalmente los meses de junio, julio, agosto y septiembre) se recibe una gran cantidad de estas aguas en el sistema de drenajes de toda la planta, recolectándose en las cuatro fosas de aguas residuales y contaminándose inmediatamente al mezclarse con las aguas domésticas y de proceso que genera la planta.

Mediante un estudio hidrológico que le realizó a esta planta la compañía Bufete Industrial se obtuvieron datos de precipitación anual de los años 1961 a 1987, de los meses de junio, julio, agosto y septiembre, con lo que se calculó cual es el promedio de precipitación diario en esta zona. Los valores promedio obtenidos se muestran a continuación:

Junio = 147.54 mm/mes = 4.91 mm/d

Julio = 152.50 mm/mes = 5.08 mm/d

Agosto = 158.47 mm/mes = 5.28 mm/d

Septiembre = 134.29 mm/mes = 4.48 mm/d

La precipitación promedio al día = 4.94 mm/d

Al multiplicar este número por el área cubierta de la planta que se considera es de 14,185 m² se obtiene el flujo promedio diario de agua que se recolecta en época de lluvias en la planta de pinturas, ya que de los techos esta agua escurre a los sistemas colectores de aguas servidas o usadas de la planta. La estimación obtenida fue:

Flujo de agua de lluvia promedio = 70.03 m³/d

H) COMPARACIÓN ENTRE ESTIMACIONES PREVIAS Y ESTE TRABAJO

Con base en un balance de masa teórico previo, de acuerdo con el suministro de agua, realizado por la empresa en estudio, se consideraron las corrientes que representaban el mayor flujo de agua residual y las de mayor carga contaminante, así como las de mayor consumo de agua de suministro. La tabla 2.9 presenta la comparación entre los datos proporcionados por esta planta de su estudio teórico realizado en 1992 con los obtenidos en este estudio.

TABLA 2.9 ESTIMACIONES DE CONSUMOS DE AGUA DE SUMINISTRO PARA SERVICIOS Y PROCESO

	LA EMPRESA		ESTE ESTUDIO	
	m ³ /d	Porcentaje (%)	m ³ /d	Porcentaje (%)
Agua para riego	2.88	2.00	76.70	47.9
Agua para uso doméstico	80.64	56.00	37.60	23.49
Agua para purgas y limpieza en áreas de proceso (incluye regaderas y lavajos de seguridad)	10.08	7.00	16.60	10.36
Agua de repuesto por evaporación	33.12	23.00	28.00	17.48
Agua para producción	17.28	12.00	1.20	0.77
TOTAL	144	100.00	160.1	100.00

En la figura 1 se presenta la distribución actual del agua en la planta.

Del análisis de los valores presentados en la tabla 2.9 se puede constatar que de las estimaciones realizadas la mayor discrepancia se da en el agua utilizada para riego pasando de aproximadamente 3 m³/d a casi 77 m³/d, de igual manera ocurre en el caso de las aguas para uso doméstico pasando en este rubro de 80 m³/d a 30 m³/d. De lo anterior puede inferirse que solo en esos dos usos de agua se emplea más del 50% del total consumido, por lo que un

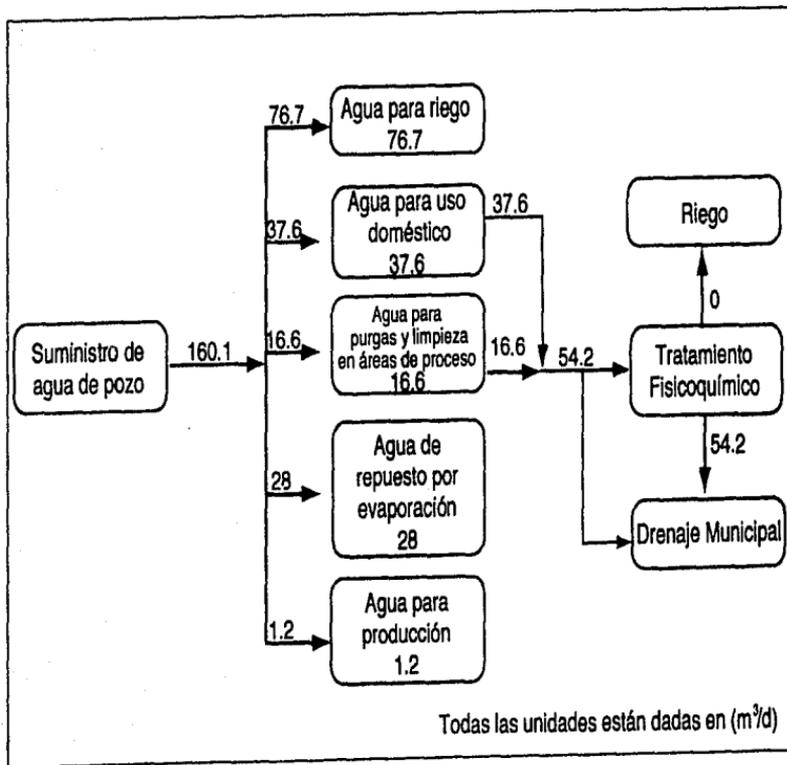


FIGURA 1. DISTRIBUCION ACTUAL DEL AGUA

manejo adecuado de los mismos deberá ser considerado en la estrategia de reducción de uso del agua

V.3 ACTIVIDAD 3: LEVANTAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CIRCUITO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Se realizó el reconocimiento del circuito de agua de enfriamiento a través de recorridos y revisión de planos reconociendo las líneas de enfriamiento y los equipos involucrados en este servicio (Anexo A, diagrama A.5).

Se trató de conocer el diferencial (ΔT) de temperatura entre la entrada y la salida para verificar si las condiciones actuales de operación corresponden al requerimiento real de enfriamiento. De las lecturas que se lograron obtener se observó que la diferencia de temperaturas era de un máximo de 3°C (Anexo B, tabla B.6) Si se lleva a cabo un estudio más detallado de todo el sistema de agua de enfriamiento es posible obtener propuestas de modificaciones que conlleven a disminuir el volumen de agua de repuesto de las fosas de enfriamiento ("make up").

V.4 ACTIVIDAD 4: LEVANTAMIENTO DE LA RED DE DRENAJES DE LA PLANTA

Esta actividad consistió en la detección de los registros de drenaje que sirvieran como puntos estratégicos, tanto para llevar a cabo un muestreo y análisis de aguas residuales como para conocer la distribución y ubicación de las descargas principales que posee la planta. Como resultado de esta actividad, se determinarían las posibles rutas y estrategias de solución para minimizar el consumo de agua y adecuar las posibles opciones de tratamiento de las aguas servidas o residuales (Anexo A, diagrama A.6).

Con información que se facilitó al equipo de trabajo se obtuvo el cálculo de las dimensiones de las cuatro fosas de recolección principales con que cuenta la planta. A continuación, en la tabla 4.1, se muestran los resultados.

TABLA 4.1 CAPACIDAD DE LAS FOSAS DE RECEPCIÓN DE AGUAS SERVIDAS

FOSA	ALTURA (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)	VOLUMEN MÁXIMO (m ³)
FOSA 1	1.78	3.90	2.40	16.66
FOSA 2	1.53	5	2.40	18.36
FOSA 3	2	3.40	1.10	7.48
FOSA 4	1.22	2.96	2.02	7.29

En fosa 1 la altura de derrame a drenaje municipal es: 1.78 m

En fosa 2 la altura de derrame a drenaje municipal es: 1.53 m

Las fosas 3 y 4 desvían sus aguas al drenaje municipal únicamente por bombeo.

V.5 ACTIVIDAD 5: MEDICIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL

La planta de pinturas cuenta con cuatro descargas de agua residual. Antes de su descarga, el agua es captada en fosas de retención, de las cuales es posible enviar el agua directamente al drenaje municipal o a tratamiento. Además, existen las interconexiones: fosa 4 a 3 y fosa 1 a 2. En cada fosa se colocó un medidor de nivel ultrasónico para monitorear las variaciones en los niveles de agua a lo largo de un determinado periodo. El tiempo de medición fue de 3 a 5 días en cada fosa. Con estas mediciones se logró obtener un perfil del comportamiento real de las descargas de agua residual. Los datos generados por el medidor ultrasónico fueron manipulados a través de una tarjeta de adquisición de datos y de allí a una computadora donde se guardaba cada 30 segundos el dato detectado por el medidor de nivel de la fosa de recolección.

Manejo de datos:

El medidor ultrasónico detecta el nivel instantáneo de la superficie del líquido en la fosa de recolección. Los datos puntuales obtenidos cada 30 segundos se almacenaron en formato ASCII y se analizaron y graficaron por medio del paquete Excell para Windows. Con los niveles del líquido registrado en el archivo y las dimensiones de la fosa de recolección donde estaba colocado el sensor ultrasónico se obtuvo el volumen del líquido almacenado en el momento de la medición. Por medio de una de las funciones de cálculo que contiene el paquete Excell se logró obtener, tanto el valor máximo del volumen como el valor mínimo del volumen en un determinado periodo. En la tabla 5.1 se presentan los resultados obtenidos de la medición en cada una de las fosas de recolección.

TABLA 5.1. FLUJO DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL POR DÍA

NÚMERO DE FOSA	FLUJO (m ³ /d)
Fosa 1	9.06
*Fosa 2	40.10
Fosa 3	5.10
Fosa 4	5.60
TOTAL	50.80

* El flujo de la fosa 2 incluye el flujo de la fosa 1

En el anexo C se encuentran las gráficas que muestran el comportamiento de las descargas de aguas residuales en cada fosa en un día. En las gráficas se pueden observar las variaciones del volumen de la fosa que se monitoreaba, lo que permitió detectar las horas de mayor descarga de agua residual en cada fosa. En algunas gráficas se observan cambios bruscos del volumen debido a que era accionada la bomba de descarga de aguas residuales, ya sea para alimentar a la planta de tratamiento fisicoquímico o descargar hacia el drenaje municipal.

V.6 ACTIVIDAD 6: MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES

Debido a que en la industria el agua debe muestrearse bajo muy diversas condiciones, no existe un procedimiento único que pueda aplicarse de modo universal. El agua de uso industrial o de desecho no tiene una composición fija, sino que presenta cambios apreciables que dependen de su origen, de la precipitación pluvial de la estación, la temperatura, los desechos contaminantes y los procesos industriales.

Dentro de los agentes que alteran la calidad del agua y que pueden desplazarse de una fase a otra, sus características son importantes ya que de ellas depende el tipo de tratamiento que debe darse al agua para depurarla. Estas características son (Seanez, 1995):

1. FÍSICAS (color, turbiedad, temperatura, olor, sabor),
2. QUÍMICAS (presencia de sustancias inorgánicas y orgánicas),
3. BIOLÓGICAS (desequilibrio provocado por un aumento del número de microorganismos presentes) y
4. RADIOLÓGICAS (factores de contacto del agua con sustancias radioactivas)

Las muestras líquidas se clasifican generalmente en dos grupos principales; las muestras instantáneas, locales, individuales o aleatorias y las que se denominan integradas, continuas o compuestas. La muestra aleatoria se recoge en forma manual y consiste en una sola porción de agua que sirve para una comprobación momentánea y es útil en la investigación de características anormales (Montgomery, 1985).

Los desechos que descargan las industrias son, por naturaleza, muy diversos e incluso se hacen muy visibles después de su descarga. El estudio de los planos donde se representa el drenaje subterráneo y los registros de alcantarillado en las áreas de fabricación, ayudó a localizar los puntos adecuados para el muestreo.

La caracterización de las aguas residuales de la planta se llevó a cabo mediante el análisis de muestras compuestas conformadas de muestras simples, colectadas en los puntos más representativos de descarga y a diferentes horas del día (Anexo A, diagrama A.7), siguiendo la metodología de las normas oficiales mexicanas (NOM-AA-3-1980), mas no aplicando la NOM-ECOL-031-1993 ya que no era objetivo de este estudio el llevar a cabo un monitoreo completo de aguas residuales, sino únicamente obtener información que indicara la calidad de las aguas residuales generadas en esta planta, las cuales como se observa en el anexo A, diagrama A.6, se mezclan las aguas de proceso con las de origen doméstico, tanto en las líneas de drenaje como en las cuatro fosas de recolección, de las cuales se junta la fosa 4 con la fosa 3 y la fosa 1 con la fosa 2; para que finalmente las fosas 2 y 3 bombeen sus aguas residuales mixtas a la planta de tratamiento fisicoquímico (tal y como se observa en la figura 2).

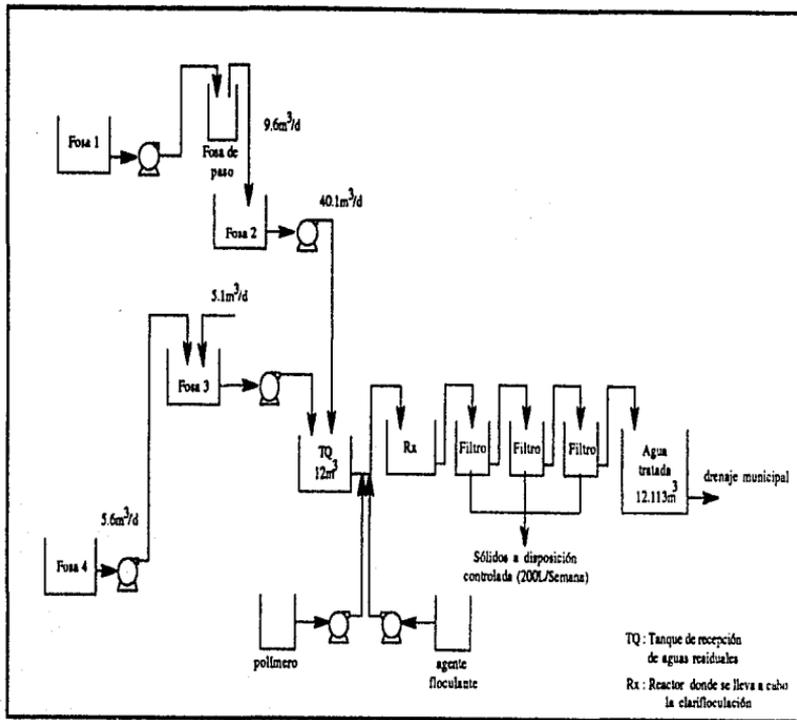


FIGURA 2. PLANTA DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

Los resultados obtenidos del análisis realizado pueden ser consultados en la tabla 6.1 donde se muestran los parámetros analizados, los cuales son los más representativos para este tipo de aguas residuales (y todos están considerados en las normas oficiales mexicanas vigentes), así como el día y la hora en que fueron tomadas dichas muestras.

Asimismo, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), del Edo. de Morelos, llevó a cabo análisis de demanda bioquímica de oxígeno total (material en suspensión y disuelto) del agua a cinco días y última, de los cuales se muestran en la Tabla 6.2 los resultados.

TABLA 6.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS REALIZADOS POR EL IMTA

MUESTRA	DBO ₅ total (mg/L)	DBO _u total (mg/L)
1. Influyente de la planta	246	256
2. Efluente de la planta	117	119
3. Influyente de la planta	109	116
4. Efluente de la planta	135	175

Datos proporcionados por la empresa

El personal de la planta brindó información sobre las condiciones particulares de descarga fijadas por la SEMARNAP, las cuales se encuentran en la tabla 6.3 y que fueron tomadas de la norma oficial mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993. En esta misma tabla se presentan datos del agua residual de la planta que es enviada al drenaje municipal.

Tabla 6.3. COMPARACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS OBTENIDOS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARÁMETRO	VALORES MÁXIMOS OBTENIDOS	LÍMITES PERMISIBLES (PROMEDIO DIARIO)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (INSTANTÁNEO)
Temperatura (°C)	28 (baños y sanitarios intermedios)	-	menor de 40
pH (unidades de pH)	8.8 (baños y sanitarios plásticos)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables (mg/l.)	no se realizó	-	10
Grasas y aceites (mg/l.)	no se realizó	-	100
Conductividad eléctrica (microhm/cm)	4350 (registro en periodo principal)	5,000	5,000
Aluminio (mg/l.)	127.69 (entrada a planta de tratamiento)	10	20
Cromo hexavalente (mg/l.)	no se realizó	-	1
Cromo total (mg/l.)	3.698 (entrada a planta de tratamiento)	2.5	5
Demanda química de oxígeno (mg/l.)	2,927 (entrada a planta de tratamiento)	100	160
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l.)	no se realizó*	50	80
Sólidos suspendidos totales (mg/l.)	1790 (salida de la planta de tratamiento)	50	80

* El único dato disponible es el de entrada a la planta de tratamiento (tabla 6.2), entre 116 y 56 mg DBO_u/L realizado por el IMTA para este estudio.

TABLA 6.1. ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE PINTURAS (1/3)

PUNTO DE MUESTREO	FECHA	Núm. DE MUESTRAS	HORA	T (°C)	pH	DQO Total (mg/L)	DQO Soluble (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STT (mg/L)	SSV (mg/L)	SDT (mg/L)	SDV (mg/L)	CONDUCTIVIDAD (micromho/cm)
Baños y sanitarios terminados	26-06-93	1	12:30	24	7.93	222.22	79.365	1,860	720	340	250	1,520	470	1,890
	26-06-93	2	13:45	25	7.73	896.82	341.270	2,490	1,240	530	410	1,960	830	1,760
		3	15:30	24	7.91	380.95	293.651	1,990	850	340	260	1,650	590	1,790
	26-06-93	4	*Comp.	24	7.86	261.90	253.968	1,850	800	270	200	1,580	600	1,813
Baños y sanitarios intermedios	03-07-93	5	10:36	25	7.67	56.180	101.124	1,590	520	180	210	1,410	310	1,940
	03-07-93	6	12:22	25	7.65	202.24	89.888	1,650	490	140	160	1,510	330	2,050
	03-07-93	7	15:15	27	7.56	651.68	146.067	1,720	660	710	530	1,010	130	1,900
	03-07-93	8	*Comp.	26	7.62	146.06	56.180	1,700	540	200	200	1,500	340	1,948
Baños y sanitarios plásticos	26-06-93	9	12:00	16	8.8	142.85	158.730	1,710	850	160	230	1,550	620	1,560
	26-06-93	10	13:30	17	8.04	158.73	126.984	2,030	800	130	260	1,900	540	1,770
	26-06-93	11	15:15	18	8.38	269.84	158.730	2,320	920	230	240	2,090	680	1,960
	26-06-93	12	*Comp.	17	8.41	230.15	126.984	1,800	750	140	160	1,660	590	1,763

*Comp: Muestra compuesta

DQO = Demanda química de oxígeno

ST = Sólidos totales

STV = Sólidos volátiles totales

SSV = Sólidos suspendidos volátiles

SDT = Sólidos disueltos totales

SDV = Sólidos disueltos volátiles

TABLA 6.1. ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE PINTURAS (2/3)

PUNTO DE MUESTREO	FECHA	Núm. DE MUESTRAS	HORA	T (°C)	pH	DQO Total (mg/L)	DQO Soluble (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SDT (mg/L)	SDV (mg/L)	CONDUCTIVIDAD (micromho/cm)
Baños y sanitarios manifi- cación	01-07-95	13	10.30	25	7.91	426.96	269.663	2,100	720	300	230	1,800	490	2,200
	01-07-95	14	12.50	24	8.16	584.27	460.674	2,740	1060	670	420	2,070	640	3,800
	01-07-95	15	15.00	28	7.60	1095	280.898	2,330	940	650	540	1,680	400	2,060
	03-07-95	16	*Comp.	25	7.89	968.25	222.47	2,390	950	710	480	1,680	470	2,687
Cafetería	06-07-95	17	10.35	20	7.72	476.19	293.65	2,390	740	420	220	1,970	520	2,380
	27-06-95	18	11.15	22	6.09	512.19	300.813	2,120	500	250	60	1,870	440	1,740
	27-06-95	19	11.20	22	6.16	939.85	601.5	2,070	550	120	40	1,930	510	1,780
** por bombeo	27-06-95	20	*Comp	19	6.20	853.65	642.28	1,920	840	240	180	1,680	660	1,920
Prado Principal	27-06-95	21	11.37	23	7.46	1,917.3	1,240.6	4,481	380	280	140	4,201	240	4,550
	27-06-95	22	13.00	24	7.92	121.95	32.52	1,590	370	140	160	1,450	210	1,810
	27-06-95	23	15.30	22	7.20	563.49	357.14	2,150	770	640	260	1,510	510	1,710
	27-06-95	24	*Comp	23	7.66	1,917.3	1,240.6	4,481	380	280	150	4,201	240	4,550

**La muestra corresponde a las aguas que se encuentran en el fondo de la fosa donde está ubicada la succión de la bomba

*Comp. Muestra compuesta

DQO = Demanda química de oxígeno

ST = Sólidos totales

STV = Sólidos volátiles totales

SSV = Sólidos suspendidos volátiles

SDT = Sólidos disueltos totales

SDV = Sólidos disueltos volátiles

TABLA 6.1. ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE PINTURAS (3/3)

PUNTO DE MUESTREO	FECHA	Núm. DE MUESTRAS	HORA	T (°C)	pH	DQO Total (mg/L)	DQO Soluble (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SDT (mg/L)	SDV (mg/L)	CONDUCTIVIDAD (micromho/cm)
Planta de tratamiento														
*Influyente	29-11-93	26	8:30	--	--	2,927	362	--	--	--	--	--	--	--
*Efluente	29-11-93	27	8:30	--	--	525	358	--	--	--	--	--	--	--
*Influyente	29-11-93	32	8:30	--	--	1284	532	--	--	--	--	--	--	--
*Efluente	29-11-93	33	8:30	--	--	530	322	--	--	--	--	--	--	--
**Influyente	Daca de la empresa	-	--	--	--	462	--	--	--	--	--	--	--	--
**Efluente	Daca de la empresa	-	--	--	--	98	--	--	--	--	--	--	--	--
tambores (agua de fosa de plásticos)	08-11-93	34	14:25	21	--	--	--	2,740	370	1,147	333	1,593	--	1,605

* Los análisis de la influente y efluente de la planta de tratamiento fisicoquímico fueron realizados por el laboratorio de calidad de agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Edo. de Morelos

** Los datos proporcionados por la empresa fueron tomados en 1992

DQO = Demanda química de oxígeno

ST = Sólidos totales

STV = Sólidos volátiles totales

SSV = Sólidos suspendidos volátiles

SDT = Sólidos disueltos totales

SDV = Sólidos disueltos volátiles

V.7 ACTIVIDAD 7: DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden estar suspendidos y/o disueltos; los primeros pueden separarse por métodos físicos (por ejemplo, si son más pesados que el agua, por sedimentación; si son más ligeros que el agua, por decantación o desnatado). Los segundos requieren de procesos químicos que permitan convertirlos en otros compuestos que se separen del agua (en forma gaseosa y/o sólida, "precipitable" o "desnatable"). Los sistemas biológicos hechos por el hombre se basan en los principios de los sistemas naturales de autodepuración de los cuerpos de agua. En ellos, los microorganismos presentes en esos cuerpos de agua, con o sin la presencia del oxígeno del aire disuelto en ese cuerpo de agua, emplean a los compuestos orgánicos (y/o inorgánicos) biodegradables presentes en ese ecosistema como fuentes de energía y nutrimentos. La principal ventaja de los sistemas biológicos sobre los procesos químicos de conversión a sólidos y/o gases es su costo, ya que los microorganismos actúan como reactivos, catalizadores y productos. Desafortunadamente, solamente son útiles cuando los materiales contaminantes que se desean eliminar del agua residual son biodegradables y, además, no debe haber simultáneamente en el agua residual sustancias tóxicas y/o recalitrantes al tratamiento de los sistemas biológicos. Se obtuvieron datos del efluente de la planta de tratamiento fisicoquímico existente, con los cuales se observó que existe una gran eficiencia de remoción de sustancias tóxicas que pudieran propiciar un mal funcionamiento del sistema biológico que se plantea instalar. A continuación se indican estos valores en la tabla V.7.1..

TABLA V. 7.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA TRATADA*

Tipo de tratamiento : Clarifloculación y filtrado
 Floculante utilizado : Klorhigel MC (Polímero inorgánico)
 Medios filtrantes : Arena - Antractia y Carbón Mineral CAGR-8X30

P.H. 6.0 Conductividad eléctrica : 2,410 micromho/cm
 NMP Coliformes totales** 11,000.0 Col/100 mL. Cuenta Bacteriana Total : 65.0 Col/mL.

Determinaciones expresadas en mg/L

sólidos sedimentables :	0.0	grasas y aceites :	3.4
aluminio :	2.5	arsénico :	0.0
cadmio :	0.0	cianuro :	0.0
cobre :	0.0	romo hexavalente :	0.0
romo total :	0.0	fluoruros :	0.39
mercurio :	0.0	níquel :	0.0
plata :	0.0	plomo :	0.0
zinc :	0.03	fenoles :	0.46
SAAM :	0.59	alcalinidad :	533.5
acidez :	98.0	D.B.O. :	613.3
D.Q.O. :	2,453.5	sólidos totales :	173.0
dureza total :	365.0	cloro :	0.0

*Datos proporcionados por la empresa en estudio.

** NMP: Número más probable

Es claro que de esta información puede observarse que el agua residual tratada no cumple con la legislación presentada en la tabla 6.3. Si se plantea un tratamiento biológico es evidente que se podría eliminar solamente el material biodegradable (medido como DBO).

Sin embargo, es importante eliminar este material biodegradable que está creando problemas en los sistemas donde se reusan estas aguas "tratadas".

A continuación se describen los principios de operación de estos sistemas biológicos.

En las plantas biológicas hechas por el hombre, se acostumbra dividir a los sistemas en varias etapas, generalmente conocidas como tratamiento primario, secundario y terciario. A continuación se describen someramente.

A.- TRATAMIENTO PRIMARIO

El fundamento del tratamiento primario es el de reducir la carga orgánica "cruda" total por concepto del material suspendido presente en las aguas en tratamiento, ya que al ser seguido de un proceso biológico, se logra la remoción entre un 90-95% de la carga remanente. Normalmente tiene dos pasos, una separación de materiales de gran tamaño a través de cribas, un desarenador y una trampa de aceites y grasas y un segundo paso, donde se separan los materiales de menor tamaño, pero todavía con densidades mayores o menores que las del agua y que se separan en sedimentadores construidos *ad hoc* para ello. Ahí se impedirá el paso de los sólidos que por su tamaño pudieran causar daño a los equipos mecánicos y se retendrán los contaminantes suspendidos en el agua residual por medio de sedimentación y flotación. El sedimentador primario tiene intercomunicación con el reactor biológico, de tal manera que se garantice una alimentación continua de materia orgánica al reactor biológico en periodos de flujos mínimos o nulos (Metcalf & Eddy, 1991).

B.- TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario es justamente el corazón del sistema biológico y consta de un biorreactor y de un separador de subproductos de las reacciones bioquímicas que ocurren en él. Si los organismos son aerobios se producirán esencialmente biomasa microbiana y gas carbónico y agua (en proporciones casi iguales, 50% de biomasa y 50% de agua en fase vapor y CO₂, tomando como base la cantidad de material biodegradable disponible, casi siempre medido como demanda bioquímica de oxígeno, como carbón orgánico disuelto o como sólidos disueltos volátiles). Si son anaerobios se generará mucho menos proporción de biomasa y una mayor de biogás, formado por metano (entre 60 y 80% en volumen), gas carbónico (entre un 20 y un 40%) y trazas de ácido sulfhídrico y amoníaco, principalmente (el biogás representa aproximadamente el 90% del material biodegradable disponible y la biomasa el 10% restante). Cuando los microorganismos están fijos en un soporte inerte a estos sistemas se les conoce como sistemas de biopelícula y cuando están homogéneamente distribuidos en el seno del líquido en el reactor se conocen como sistemas floculados. Para el primer caso, los reactores se

pueden simular como reactores de flujo pistón y para el segundo, como reactores continuos perfectamente agitados (para ello, es necesario que se introduzca siempre biomasa al reactor para que haya un régimen permanente, lo que implica que siempre necesitan de una recirculación de biomasa) (Durán de Bazúa, 1994).

En este trabajo se considerará solamente a los sistemas aerobios de biopelícula, ya que son más eficientes que los de tipo floculado y que los anaerobios, especialmente para el tratamiento de aguas residuales relativamente poco concentradas en material contaminante biodegradable, como es el caso de las aguas residuales de servicios de la planta en estudio. También se aplicó la siguiente relación :

$$\text{DBO}_5 / \text{DQO} < 0.25$$

conocida como relación de biodegradabilidad. Cuando la relación es mayor de 0.25 se recomienda un tratamiento biológico, pero si es menor de 0.25 no vale la pena usarlo ya que prácticamente no se elimina ese material biodegradable.

Para este estudio (tabla V.7.1) la DBO₅ (efluente del sistema de tratamiento fisicoquímico) es de 600 mg/L y la DQO (efluente del sistema de tratamiento fisicoquímico) es de 2,500 mg/L. Esto daría un valor de 0.24, que está prácticamente en el límite. Si se toman los datos de las tablas 6.1 y 6.2 (obtenidos para este trabajo por el IMTA):

$$\text{DBO}_5 / \text{DQO} = 135 \text{ mg/L} / 358 \text{ mg/L} = 0.3770 > 0.25$$

se podría recomendar el uso de un tratamiento biológico.

Naturalmente , antes de proceder a tomar una decisión será necesario llevar a cabo un estudio analítico estadísticamente significativo para validar estos datos.

Sin embargo, con base en estos análisis preliminares, se recomienda hacer un estudio de prefactibilidad con un sistema biológico.

El sistema considerado será el reactor biológico rotatorio o de biodiscos, como se le conoce, aunque actualmente, el empaque ya no está en forma de discos propiamente dichos sino de cilindros.

B.1. Reactor biológico rotatorio

En esta unidad se tiene como objetivo fundamental reducir el contenido de material orgánico biodegradable disuelto, ya sea medido como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), como demanda química de oxígeno (DQO), como carbón orgánico total (COT) o disuelto (COD) o como sólidos disueltos volátiles (SDV). Este tipo de reactor puede simularse como un reactor continuo de flujo pistón.

Originalmente, el sistema estaba constituido por los discos biológicos rotatorios y un clarificador secundario integrado en el cuerpo del propio reactor (Stengelin, 1982).

Actualmente el sistema esta constituido por un clarificador primario, el reactor biológico y un clarificador secundario, aunque naturalmente, esto depende de las empresas constructoras de los equipos comerciales

Los discos ó material plástico cumplen varios propósitos. Son un soporte para las poblaciones microbianas, sirven como dispositivo de mezclador en el tanque y permiten la oxigenación del medio. Estos empaques rotan sobre su eje lentamente (2 a 5 rpm) y tienen un 40% de su superficie sumergida en el agua residual, mientras que el resto entra en contacto con el aire atmosférico, es decir, la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva.

Cuando el proceso inicia su operación los microorganismos del agua de desecho se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área queda cubierta con una capa ó película microbiana.

Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se lleva a cabo por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa. Los microorganismos utilizan el oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia biodegradable disuelta que es utilizada como fuente de nutrimentos (de la palabra "nutrient" en inglés). Esto hace que estos compuestos orgánicos (y/o inorgánicos) se transformen en nueva biomasa microbiana y gases (como el dióxido de carbono). Los principales productos de la oxidación bioquímica son agua, dióxido de carbono y microorganismos desprendidos que se mantienen en suspensión en el líquido, salen del tanque con el agua tratada y se dirigen hacia el clarificador secundario, donde son separados de ésta. Los gases se liberan a la atmósfera o se aprovechan como un subproducto

B.2. Clarificador secundario

El agua, una vez tratada, pasa después a un clarificador secundario, en donde se separa la biopelícula desprendida, que constituye los llamados lodos de purga del sistema y que hay que tratar y estabilizar antes de su disposición final. En el tratamiento del agua residual doméstica se alcanzan eficiencias del 90% al 99% en la remoción de DBO₅ y/o DBOu.

C.- TRATAMIENTO TERCIARIO

Como generalmente se tienen en el agua residual original sustancias disueltas que no son biodegradables y, además, durante la depuración biológica se forman algunas que tampoco son biodegradables, como los "humatos" y "fulvatos", que dan el color más oscuro a las aguas residuales tratadas biológicamente, es necesario llevar a cabo un tratamiento final, al que se conoce como terciario. Este involucra también dos pasos, uno químico ó fisicoquímico que separa estas sustancias no biodegradables y otro que elimina cualquier organismo patógeno que lograra sobrevivir a estos sistemas químicos ó fisicoquímicos, que es de desinfección.

Para el primer paso, dependiendo de la caracterización de las aguas residuales, que indique el tipo de sustancias que hay que eliminar, se emplean la ósmosis inversa, la coagulación y precipitación química, por ejemplo, y para el segundo paso, también dependiendo del tipo de

organismo patógeno, se usa la cloración, la ozonación, la luz ultravioleta, etc. (Metcalf y Eddy, 1991).

En el caso de la planta en estudio se verá qué pasos de este tipo de tratamiento pueden emplearse.

V.8 ACTIVIDAD 8: SIMULACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES CON EL PROGRAMA ENPRO

Para obviar la realización de experimentos y evaluar la bondad de los diferentes sistemas biológicos desarrollados por el hombre, se han "diseñado" modelos computarizados. Uno de ellos, el conocido como ENPRO, permite con relativamente pocos datos simular diferentes sistemas biológicos (p. ej. aerobios o anaerobios, de biopelícula o floculados) (López-Martínez, 1995)

Para este proyecto, en particular, se tomó la parte del paquete que simula los reactores biológicos rotatorios. La razón de haber seleccionado este tipo de reactor es que estos sistemas son compactos (requieren de poca área superficial en su lugar de instalación), están cubiertos (lo que minimiza los problemas de olores, aerosoles potencialmente tóxicos e insectos molestos) y su costo es razonable (tanto la inversión inicial de capital como los costos de mantenimiento ya que, aunque son aerobios, no necesitan equipos accesorios para proveer la oxigenación).

Para llevar a cabo los ejercicios de simulación se tomaron, para un caso, los datos proporcionados por la empresa en cuanto a las características del agua tratada en la planta de tratamiento químico existente. La razón de tomar estas características se deben al hecho de que las aguas residuales de la planta son mixtas, esto es, contienen residuos orgánicos biodegradables (provenientes de los servicios) y residuos tóxicos y/o recalcitrantes al tratamiento biológico (provenientes del proceso). Esto hace imposible el uso de un sistema biológico para tratarlas, a menos que éstas se separen previamente (proceso conocido como segregación de efluentes) y, además, cabe señalar que durante este proyecto la empresa planteó que solamente se diseñara un sistema de tratamiento biológico adaptado a las características del agua tratada en la planta de tratamiento químico existente, para únicamente eliminar la materia orgánica presente en estas aguas y, así, no dejaría de operar la planta de tratamiento ya existente (que fue de una inversión considerable) y, una vez eliminada la materia orgánica (que no se elimina por completo en la planta de tratamiento fisicoquímico), esta agua sería susceptible de ser reutilizada en los sistemas de enfriamiento, principalmente. En el otro caso se tomaron los datos reportados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

En la tabla 8.1 se presentan las características máximas requeridas para el reuso del agua en los sistemas de enfriamiento y riego de áreas verdes.

Tabla 8.1. Características máximas del efluente requeridas para el reuso del agua (DGCOH,1987)

PARÁMETRO	RIEGO DE ÁREAS VERDES	SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO
Temperatura (°C)	-	-
pH	6.5	7.5
DBO soluble (mg/L)	20	20
DQO soluble (mg/L)	50	50
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	515	110
Coliformes totales (UFC/100 mL)	30,000	10

UFC: Unidades formadoras de colonias

V.8.1 Simulación para las condiciones actuales de la planta

Considerando que ya existe una planta de tratamiento fisicoquímico de aguas residuales instalada en la planta de pinturas pero que sus efluentes todavía contienen parte del material orgánico biodegradable disuelto en ellas, se plantea colocar en serie con ese tratamiento fisicoquímico, el sistema biológico seleccionado.

Para obtener el mejor dimensionamiento de los equipos que integran el sistema del tratamiento biológico se simuló el proceso a diferentes flujos del influente para que el reactor opere las 24 horas del día, de lunes a domingo. Los flujos que se manejaron son los medidos en la actividad 5 "Medición de las descargas de agua residual". En la tabla 8.2 se indican los flujos obtenidos en esta actividad.

Tabla 8.2 Flujos volumétricos obtenidos en este estudio

Núm. DE FOSA	FLUJO (m ³ /d)
*Fosa 2	40.10
Fosa 3	5.10
Fosa 4	5.60
Total	50.80

* El flujo de la fosa 2 incluye el flujo de la fosa 1

El flujo medido de las descargas de agua residual de las cuatro fosas es de 50.80 m³/d (de los 161 metros cúbicos extraídos diariamente, ya que una parte muy importante se va con el agua de riego y otra con la evaporación en las torres de enfriamiento de agua, 77 y 28 m³/d, respectivamente). Si se toma un factor de diseño de 15%, el flujo considerado de agua residual a tratar es de 58.42 m³/d. Se realizaron varias corridas en el simulador a diferentes flujos para encontrar el mejor dimensionamiento de los equipos del sistema de tratamiento biológico para tratar aguas domésticas típicas (se consideró como una primera suposición que las aguas provenientes del sistema fisico-químico, por su baja concentración de materia orgánica, se tratarían como aguas domésticas típicas). Se simularon también los sistemas y condiciones para

tratar los lodos o residuos que genera el tratamiento biológico, ya que se aconsejará la instalación de un digestor para reducir su volumen y estabilizarlos permitiendo su uso como mejoradores de suelos para las áreas verdes de la planta, eliminando costos por disposición. En el anexo D se presentan los datos completos de las simulaciones.

El flujo que garantiza el funcionamiento de la planta durante las 24 horas del día durante toda la semana es el de 2m³/h, por lo que se selecciona como mejor dimensionamiento el obtenido con un flujo de 2 m³/h con un volumen de diseño de reactor de 24 m³ y un volumen de digestor de 0.05 m³. En la tabla 8.3 se indican los resultados obtenidos para el flujo de 2m³/h.

Tabla 8.3 Resultados más importantes de una simulación para un flujo de 2 m³/h

PARAMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE
Tiempo de residencia (h)	-	12
Volumen del reactor (m ³)	-	24
Temperatura (°C)	*21	21
pH	*7.6	7.6
DBO (mg/L)	*77	13.76
DQO (mg/L)	*98	22
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	*3.5	10
Lodos generados (kg/h)	-	4.01
Flujo volumétrico de lodos generados (m ³ /h)	-	4E-3
Volumen del digestor (m ³)	-	0.05

* Datos proporcionados por la planta de pinturas

Los responsables del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA), con el apoyo analítico del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), emplearon también esos resultados (tabla 6.2) para la simulación.

En la tabla 8.4 se indican los resultados obtenidos de la simulación para el flujo de 2m³/h con las datos de DQO y DBO₅ proporcionados por el IMTA.

Tabla 8.4 Resultados más importantes de la simulación para un flujo de 2 m³/h

PARAMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE
Tiempo de residencia (h)	-	12
Volumen del reactor (m ³)	-	24
Temperatura (°C)	*21	21
pH	*7.6	7.6
DBO (mg/L)	**135	13.86
DQO (mg/L)	**530	22.16
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	*3.5	10
Lodos generados (kg/h)	-	8.53
Flujo volumétrico de lodos generados (m ³ /h)	-	8.52 E-3
Volumen del digestor (m ³)	-	0.10

* Datos proporcionados por la planta de pinturas

** Datos del IMTA

En la siguiente sección se realiza una evaluación económica del reactor de biodiscos que se requiere, la cual se basó en las características de diseño y operación obtenidas mediante la simulación.

VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA

VI.1 Cotización comercial

Con la finalidad de obtener una evaluación económica con el mayor grado de confiabilidad se solicitó información de una empresa que fabrica en México "plantas paquete" para el tratamiento de aguas residuales, acerca del costo total y costos de operación de una planta de tratamiento biológico del tipo "Discos Biológicos Rotatorios" (que no incluye el costo del digestor sino de la disposición de los lodos generados mediante "pipas" que los transportan a un sitio de disposición controlada) (Mexicana General de Bombeo, 1996).

En la propuesta de la empresa importadora se ha integrado la cotización comercial de la planta paquete, sus características, ventajas y costos de operación (Tabla VI.1.1)

Tabla VI.1.1. Descripción del proveedor de un reactor biológico rotatorio (Bio-Reactor AMDS (Mexicana General de Bombeo, 1996)

PROCESO	VENTAJAS Y DESCRIPCIÓN
Bio - reactor	La más alta eficiencia en remoción de contaminantes, bajo consumo de energía eléctrica, transportable en una pieza, no requiere tratamiento previo u obra civil adicional, costo razonable, "mínima" producción de lodos, instalación cerrada bajo nivel de piso, compacta, tecnología de punta
Tratamiento primario, sedimentación	Remoción de contaminantes suspendidos, economía, prácticamente libre de mantenimiento
Tratamiento secundario, proceso de "discos" biológicos rotatorios	Alta eficiencia en remoción de contaminantes, capacidad para absorber fluctuaciones en carga orgánica y flujo volumétrico, mínimo consumo de energía
Tratamiento secundario, componentes mecánicos	Sencillo mantenimiento, trabajo a baja velocidad, mínimo desgaste, reducción completa por engranes
Desinfección, cloración	Alta remoción de patógenos, sencilla y económica operación.
Almacenaje integral y tratamiento de lodos	El lodo producido se almacenará dentro de la planta antes de su disposición
• La planta paquete cotizada	Es única en su tipo en México, ya que ninguna otra utiliza el tipo de sistema rotatorio propuesto (hay otras plantas de discos biológicos rotatorios pero su operación es diferente)
• La operación	Es automática, el mantenimiento se reduce a la lubricación y limpieza

• Sólidos producidos en el efluente	Son fácilmente sedimentables incluso con mejores características que los generados en procesos de tratamiento biológico floculado (como los de lodos activados).
• Como se tiene una biopelícula,	No se requiere tipo alguno de recirculación en el proceso, lo que evita costos de tuberías y bombas adicionales.
• Consumo de energía	Es mucho menor al de los sistemas convencionales (75-80% ahorro ya que no requiere de aireación. Al seleccionar un proceso de tratamiento, es de capital importancia considerar los costos de operación y mantenimiento y no exclusivamente la inversión inicial.
• Área requerida	Es mínima; ya que los sistemas rotatorios logran eficiencias de remoción idénticas a otros sistemas con menor área equivalente de reactor/sitio.

VL2 Descripción técnica

El proveedor da la siguiente información:

Características del influente a la planta de tratamiento

Caudal medio:	50 m3/día (0.58 L/s)
Caudal pico (1 hora al día):	200 m3/día (2.31 L/s)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅):	135.00 mg/L
Sólidos suspendidos totales (SST):	120.00 mg/L
Elevación	2,240 m s.n.m.
Temperatura máxima (verano):	25°C
Temperatura mínima (invierno):	17°C

Calidad del efluente, diseño de la planta

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅):	30.00 mg/L
Sólidos suspendidos totales (SST):	30.00 mg/L
Coliformes totales	1,000 NMP/100 mL

NMP: Número más probable

Planta de tratamiento seleccionada

Tipo	Paquete
Longitud total	6.50 m
Ancho	2.15 m
Altura	2.15 m
Capacidad nominal (DBO ₅ = 270 mg/L)	50.00 m3/día
Capacidad en las condiciones de operación:	50.00 m3/día

Tratamiento primario

Tipo	Clarificación y flotación por gravedad
Carga hidráulica a flujo promedio :	37.3 m ³ /m ² *día

Tratamiento biológico

Tipo	Discos biológicos rotatorios
Diámetro de los discos	1.60 m
Longitud del reactor biológico	3.40 m
Área disponible total para crecimiento biológico	537.00 m ²
Área en primera etapa	215.00 m ²
Área segunda a cuarta etapas	107.00 m ²
Carga orgánica aplicada	16 gDBO ₅ /m ² *día
Velocidad de operación	3.40 r.p.m.
Factor de servicio reductor	1.70
Potencia del motor eléctrico	0.50 HP

Clarificador secundario

Tipo:	Clarificador estático, separación de lodo secundario por diferencia de densidades
Carga hidráulica a flujo promedio	13.51 m ³ /m ² *día

Desinfección del efluente

Tipo	Cloración utilizando alimentador de tabletas
Tanque de reacción	Estático, con mamparas auxiliares para mezcla
Tiempo mínimo de retención en el tanque de reacción	30 minutos

Instrumentación

Tablero general	Contador de horas del equipo en operación
	Amperímetro
	Voltímetro
	Luces indicadoras de arranque y paro

Equipos y dispositivos incluidos

La planta paquete cotizada incluye los siguientes equipos y dispositivos principales

Descripción	Características / dimensiones
* Módulo de discos biológicos rotatorios en cuatro etapas, dimensiones totales	1.60 m de diámetro, @ 3.20 m longitud
* Unidad motriz	0.50 HP 1,750 r.p.m. FS - 1.70 (reductor)
* Clorador de tabletas capacidad	200 m ³ /día, almacenaje 116 tabletas
* Contador de horas (operación de equipo)	0-999,999 h
* Voltímetro	0-700 VAC
* Amperímetro	0-5 A
* Tanques de acero al carbón	Protección anticorrosiva con limpieza por chorro de arena y pintura epóxica
* Tanques para toda la planta, dimensiones totales	6.50 m x 2.15 m x 2.15 m - Clarificador primario - Reactor biológico - Clarificador secundario - Cloración
* Tablero de control incluyendo arrancador, luces piloto, y protección termomagnética para todo el equipo y dispositivos	
* Manual de operación y mantenimiento (2 copias)	

El sistema de monitoreo continuo del efluente, proporciona valiosa información sobre las características del agua tratada. También se incluye el tablero de control en donde se registra e indica una información completa sobre la operación de la planta. Se indica la cantidad de horas de trabajo (equipos principales), la energía y voltaje consumidos, así como se mide la cantidad de sólidos en el efluente y la presión en los filtros señalando al operador el momento de dar limpieza a los clarificadores y filtros.

El costo total de la planta paquete, incluyendo todos los equipos y dispositivos montados en el mismo ensamble es de *US\$41,170* (Cuarenta y un mil ciento setenta dólares americanos 00/100 U.S.).

VL3 DESCRIPCIÓN DE UNIDADES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

También el proveedor da una descripción de los componentes de la planta paquete.

A- TRATAMIENTO PRIMARIO

- A.1. Sedimentador primario
- A.1.1 Descripción de equipos y dispositivos

- A.1.1.1 El tanque se fabricará en acero al carbón. El flujo y alimentación al reactor biológico serán configurados de tal forma que se separarán los sólidos sedimentables y materia flotante sin que sea necesario utilizar equipo mecánico.
- A.1.1.2 El tanque de acero se protegerá utilizando una limpieza con chorro de arena y pintura epóxica anticorrosiva.

B- TRATAMIENTO SECUNDARIO

Se utilizarán discos con diámetro exterior de 1.60 m. El reactor biológico se divide en cuatro etapas (tanques independientes totalmente mezclados), de tal manera que el tipo de microorganismos en cada etapa será distinto. En la primera al tener tanto alimento (materia orgánica) se presentará una rápida degradación, dejando aún una concentración relativamente alta de contaminantes orgánicos en el efluente, sin embargo mientras el agua residual pasa a las siguientes etapas el tipo de microorganismos será distinto reduciendo la carga orgánica hasta valores mínimos.

En la cuarta etapa la cantidad de materia orgánica será mínima, los microorganismos consumirán su propia masa molecular (fase endógena), reduciendo el volumen de lodos y con la transferencia de oxígeno adicional, estabilizando parcialmente al lodo que se separará en el clarificador secundario.

- B.1. Clarificador secundario. El clarificador será de escurrimiento horizontal y rectangular.
- B.1.1. Descripción de equipos y dispositivos.
- B.1.1.1. El sedimentador será de acero al carbón. Se protegerá utilizando una limpieza con chorro de arena y pintura epóxica anticorrosiva.
- B.1.1.2. Se incluirán los dispositivos necesarios para separar los sólidos sedimentables y la materia flotante, de tal manera que se obtenga un efluente secundario de alta calidad.

C.- OXIDACIÓN QUÍMICA (CLORACION)

Esta fase servirá de pulimento al efluente en cuanto a calidad bacteriológica se refiere. Se utilizará como sistema de desinfección el de cloración, que constará de una cámara de cloración con deflectores o "bañes" intermedios para producir un mezclado mayor.

Se utilizará como agente el hipoclorito de sodio debido a su fácil manejo y seguridad. Éste se pondrá en contacto con el efluente por medio de un clorador de tabletas, de operación sencilla y económica.

El volumen de la cámara de cloración estará basado en un tiempo de residencia hidráulico de 30 minutos y la dosificación será tal que permanezca remanente una concentración de cloro total residual de 1 a 3 mg/L; "en esta unidad se pueden oxidar también compuestos fenólicos y nitrógeno como amoníaco"(MGB, Cotización comercial).

- C.1.1. Descripción de equipos y dispositivos
- C.1.1.1. La cámara de contacto será de acero el carbón. Se protegerá utilizando una limpieza con chorro de arena y pintura epóxica anticorrosiva
- C.1.1.2. Dosificador de tabletas de hipoclorito de sodio en material plástico, resistente a la corrosión

D.-SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DEL EFLUENTE

El reactor incluye los equipos y dispositivos necesarios para dar a conocer de manera continua las características del efluente, flujo, temperatura, pH y aún sólidos son monitoreados de manera constante

- D.1.1. Descripción de equipos y dispositivos
- D.1.1.1. Probetas sensoras de pH, flujo, temperatura y sólidos disueltos en la descarga de la planta, fabricadas en materiales plásticos y acero resistentes a la corrosión
- D.1.1.2. Indicadores en tablero exterior de flujo (instantáneo y totalizador), pH, temperatura y señal de alarma visual cuando se presentan concentraciones mayores de sólidos a las aceptables en el efluente (indicación para limpieza de la planta)

E.-TABLERO DE CONTROL

Indicación de las características operativas, así como el tiempo en operación del sistema en el tablero de control instalado, por encima de nivel de piso

- E.1. Descripción de equipos y dispositivos
- E.1.1. Medidor de voltaje y consumos de energía (amperaje) de la planta paquete.
- E.1.1.1. Medidores de horas en operación para los discos biológicos rotatorios
- E.1.2. Botones para arranque y luces indicadoras de operación para cada equipo
- E.1.3. Alarmas visuales para limpieza de filtros y la planta en general, de acuerdo a concentraciones excesivas de sólidos después de meses en operación
- E.1.4. Diagrama y luces indicadoras mostrando cuando es necesario dar mantenimiento a los equipos y dispositivos en el reactor

* En la figura 3 se incluye un diagrama de flujo de todo el sistema de tratamiento biológico

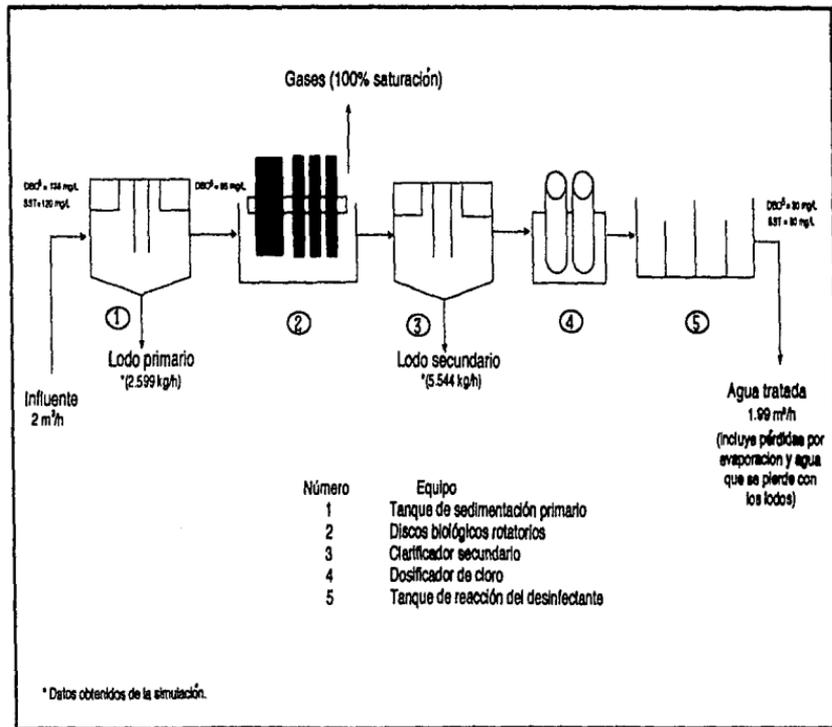


FIGURA 3. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento biológico propuesto : Bio-Reactor AMDS (Mexicana General de Bombeo, 1996)

VI 4 COSTOS Y CONSUMOS

1.- Energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica de este reactor será

TRATAMIENTO	ENERGÍA ELÉCTRICA (HP)
Primario	0.0
Biológico	0.50
Secundario	0
Desinfección	0
Total	0.50

Los kWh consumidos por la planta mensualmente serán

$$EC = 0.50 \text{ H.P.} \times 0.746 \text{ kW/H.P.} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ días/mes}$$

$$EC = 268.56 \text{ kWh/mes}$$

Considerando que el kWh cuesta \$0.22, el importe mensual por concepto de energía eléctrica resulta:

$$C_e = 268.56 \text{ kWh/mes} \times \$0.22/\text{kWh} = \$59.08/\text{mes}$$

Ya que la capacidad de este reactor es de 50 m³/día, el costo de energía eléctrica por cada m³ tratado será de

$$C_e/m^3 = \$59.08 \text{ mes} / [(50 \text{ m}^3/\text{día}) \times (30 \text{ días/mes})] = \$0.04/m^3$$

2.- Tabletas de cloro

El reactor dosifica cloro al efluente secundario utilizando tabletas de hipoclorito de sodio. El peso de cada tableta es de 0.14 kg y su diámetro es de 6.67 cm. Para la capacidad de 50 m³/día se requieren 45 tabletas por mes; considerando una dosificación de cloro de 3 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos en el tanque de contacto. El costo por kg de estas tabletas es de \$25.00, resultando el importe por mes de

$$C_t = (45 \text{ tabletas/mes} \times \$25.00 \text{ kg}) / (7.14 \text{ tabletas/kg}) = \$157.56/\text{mes}$$

Resultando por m³ de agua tratada

$$C_t/m^3 = \$157.56 / (50 \text{ m}^3/\text{día} \times 30 \text{ días/mes}) = \$0.11/m^3$$

3.- Costos de lubricantes

De acuerdo a la tabla VI.4.1 se definen los importes necesarios

Tabla VI.4.1. Costos de los lubricantes de la planta de tratamiento biológico

	Chumaceras	Equipo
Lubricante	Vaso de grasa	Motorreductor en discos biológicos rotatorios
Capacidad	2 piezas	3.30 litros
Costo unitario	\$100.00/Pza.	\$35.80
Importe	\$200.00	\$247.02
Frecuencia promedio	6 meses	3 años
Costo mensual	\$33.33	\$6.86
Costo/m ³	\$0.0222	\$0.0046

Total mensual en costo de lubricantes : $\$33.33 + \$6.86 = \$40.20/\text{mes}$

4.- Mano de obra

Se considera que el mantenimiento del reactor se llevará a cabo por el encargado general de mantenimiento en la empresa, se tomó como base un sueldo mensual integrado \$2,000.00, resultando por hora un costo de \$10.53. Los importes necesarios a erogar y promedios se encuentran en la tabla VI.4.2.

Tabla VI.4.2. Costos por mano de obra

Actividad	Duración (h)	Costo Neto \$	Frecuencia veces/mes	Costo Mensual \$	Costo/m ³ \$
Inspección y limpieza promedio semanal	3.00	31.58	4.30	135.79	0.0905
Reposición de tabletas de cloro	0.50	5.26	1.00	5.26	0.0035
Limpieza de planta (supervisión servicios de terceros)	4.00	42.11	1/6	7.02	0.0047
Colocación de graseras (chumaceras)	0.50	5.26	1/6	0.88	0.0006
Cambio de aceite en motores y reductor	8.00	84.21	1/36	2.34	0.0016
Total mensual				\$151.29	

5.- Servicios regulares por terceros

Dado que la cotización no contempla la instalación de un reactor anaerobio para reducir el volumen de los lodos primarios y secundarios y estabilizarlos con objeto de permitir su disposición como mejoradores de suelo, se presenta aquí el rubro de disposición de estos lodos. La limpieza general de la planta (sedimentador primario y clarificador secundario) se llevará a cabo con una frecuencia promedio de 6 meses, para ello se contratarán los servicios de las empresas especializadas en limpieza de fosas sépticas convencionales.

Para este reactor con capacidad nominal de 50 00 m³/día, el volumen que requerirá de limpieza será de 9.17 m³ en tanques.

Por lo tanto será necesario utilizar 2.00 viajes de pipas con capacidad de 8 00 m³

El costo considerado por cada viaje de 8.00 m³ será de \$600 00

$$CI = (2.00 \text{ viaje(s)} \times \$600/\text{viaje}) / (6 \text{ meses}/\text{limpieza}) = \$200 \text{ 00/mes}$$

$$CI/m^3 = (\$200 \text{ 00/mes}) / [(50m^3/\text{día}) \times (30 \text{ días/mes})] = \$0.13/m^3$$

6.- Resumen costo total

En la tabla VI.4.3 se presenta el resumen del costo total por servicios.

Tabla VI.4.3. Costo total de operación

Descripción	Importe mensual
Energía eléctrica	\$59.08
Tabletas de cloro	\$157.56
Lubricantes	\$40.20
Mano de obra	\$151.29
Servicios regulares	\$200.00
Subtotal	\$608.13
Imprevistos e indirectos (15%)	\$91.22
Costo total de operación mensual	\$699.35

$$\text{Costo unitario} = \$699.35 / [(50m^3/\text{día}) \times (30 \text{ días/mes})] = \$0.47/m^3$$

Este costo de operación, de \$0.47/m³, incluye todos los insumos, materiales, mano de obra, servicios por terceros, costos indirectos e imprevistos necesarios.

VI.5 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL TRATAMIENTO

Para conveniencia del comprador, la inversión en el costo inicial y operativo del reactor deben ser rentables; a continuación se presentan las ventajas económicas de este tratamiento.

Bases para evaluación

Costo del agua potable en sitio:	\$6.00 / m ³
Costo total unitario de operación, planta paquete:	\$0.47 / m ³
Inversión inicial total en el reactor:	\$41,170.00 U.S.D.
Tipo de cambio actual (sólo aplicable para esta evaluación):	\$7.50/U.S.D.
Precio equivalente en moneda nacional:	\$308,775.00

Análisis de costos

Considerando el reuso del agua tratada, el ahorro anual en agua potable equivalente a la capacidad de tratamiento, sería de

$$Ap = \$6.00/m^3 \times 50m^3/dia \times 365 \text{ dias/año} = \$109,500.00$$

El costo por operación del reactor será de \$0.47/m³, resultando una diferencia anual de

$$Dc = (\$6.00/m^3 - \$0.47/m^3) \times 50 \text{ m}^3/dia \times 365 \text{ dias/año} = \$100,991.28$$

Al considerar también la inversión inicial total de \$308,775.00 la planta paquete se pagará en:

$$N = \$308,775.00 (\text{inversión inicial}) / \$100,991.28 (\text{ahorro anual}) = 3.057 \text{ años}$$

Posteriormente el reactor estará totalmente amortizado (inversión inicial) y a costos actuales (suposición conservadora ya que el costo del agua potable tiende a incrementarse constantemente), generará ahorros anuales de \$100,991.28 (costo del agua potable no consumida menos costo de operación).

La vida útil del reactor es de 20 años, a continuación se indican los ahorros totales que implicará para la empresa esta inversión.

- Inversión inicial en la planta (\$308,775.00)
- Costo del agua tratada, por operación de planta (\$0.47/m³, equivalente a \$8,508.72/año)
- Costo del agua potable en sitio (\$6.00/m³, equivalente a \$109,500.00/año)
- A los 3.057 años (punto de equilibrio) la inversión estará totalmente pagada
- Las utilidades de la inversión (ahorro en la vida útil del reactor) serán de \$1,711,050.58

Implica que el factor de retorno en la inversión será de:

$$FR = [\$1,711,050.58 (\text{ahorro generado}) / \$308,775.00 (\text{monto invertido})] \times 100\% = 554\%$$

Por lo tanto:

- El reactor se pagará en sólo 3.057 años
- Adicionalmente, dentro de su vida útil, generará un ahorro para la empresa de \$1,711,050.58
- Después de recuperar la inversión, el ahorro en consumo de agua potable será equivalente a obtener recursos por 5.54 veces el costo inicial.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

- Por medio de las actividades de levantamiento de la red de suministro de agua y de drenajes se observó que existen baños y sanitarios distribuidos por toda la planta y cuyas descargas se mezclan con aguas de desecho o usadas provenientes de las áreas de proceso, por lo que esto dificulta su depuración haciéndola más costosa y técnicamente más difícil.
- Las áreas descritas en las tablas 2.7 y 2.8, como se vió en la tabla 2.9, se pueden agrupar en agua para riego de áreas verdes, agua de servicios, agua para lavado de áreas de proceso y purgas del área de proceso, agua perdida por evaporación y agua usada para la producción. En la tabla sdVII.1 se indican nuevamente los flujos que se consumen en las actividades descritas anteriormente.

TABLA SDVII.1 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DE SUMINISTRO (EN PARÉNTESIS LAS ESTIMACIONES HECHAS EN 1992)

ACTIVIDAD	ÁREA	FLUJO (m ³ /d)	PORCENTAJE (%)
Agua para riego	Riego de áreas verdes	76.70 (2.88)	47.9 (2.00)
Agua para uso doméstico	Excusados, lavabos y mingitorios, regaderas para aseo personal, cafetería	37.60 (80.64)	23.49 (56.00)
Agua de repuesto por evaporación	Equipos de enfriamiento del área de pinturas	28.00 (33.12)	17.48 (23.00)
Agua para purgas y limpieza en áreas de proceso	Áreas de proceso incluye pruebas ("purgas") de regaderas y lavaojos de seguridad	16.60 (10.08)	10.36 (7.00)
Agua para producción	Pintura base agua	1.20 (17.28)	0.77 (12.00)
Total		160.1 (144)	100 (100)

- El mayor volumen de agua que consume la planta se encuentra en el agua para riego de áreas verdes pero ya que esta actividad solamente se lleva a cabo en los meses de estío en que no llueve, el volumen que consumen los baños y sanitarios, cafetería, así como las torres de enfriamiento de agua, se convierte en la segunda actividad más importante que consume agua diariamente y que genera un mayor volumen de aguas residuales en la planta. En ambos rubros podría hacerse un uso más racional del agua de suministro. En el caso del agua de riego, aparentemente se tiene un uso excesivo y probablemente una gran parte de ella se evapora o se va al subsuelo. Si se regara solamente en las primeras horas de la mañana y poco antes de oscurecer, la ección se reduciría y si se usara solamente el 50% del agua actualmente empleada, se ahorraría casi un 30% del uso actual del agua de suministro. Para los servicios, si se cambiaran ó adecuaran los muebles de baño por muebles diseñados

para consumir menos agua (6 litros por descarga en los excusados y 3 litros por descarga en los mingitorios), así como las regaderas (de 180 litros a 80 litros por baño) y los grifos de los lavabos (para que liberen menos agua por unidad de tiempo), con esto se tendrían ahorros de 8 m³/d de los casi 40 m³/d actualmente consumidos.

- De acuerdo a los recorridos en las diferentes áreas de proceso se encontró que existe una diferencia de temperaturas que oscila en la mayoría de los equipos que utilizan agua de enfriamiento de 1 a 3 grados centígrados. Son pocos los datos obtenidos para decidir si el funcionamiento de las torres de enfriamiento es el adecuado o si están sobrediseñadas.
- Mediante el manejo de datos en forma de gráficas se logró observar el comportamiento de los flujos de aguas residuales en las 4 fosas de recolección en intervalos de tiempo que oscilaban entre 24 y 48 horas, ayudando con esto a observar el comportamiento en las horas pico.
- Una vez obtenidos los volúmenes detectados por el medidor de flujo ultrasónico FMU-80 en las cuatro fosas de recolección, se compararon con las estimaciones de aguas residuales que se llevaron a cabo y con información que proporcionó la empresa, estos son los resultados:

Tabla VIL2 COMPARACIÓN DE FLUJOS DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES POR DÍA

Núm. DE FOSA	"Datos de la empresa de 1992" (m ³ /día)	MEDIDOR ULTRASONICO (m ³ /día)	ESTIMACIONES (m ³ /día)
1	se junta con fosa 2	9.06	7.398
2	52	*40.1	36.87
3	26.4	5.1	**17.82
4	se junta con fosa 3	5.6	3.9
Total	78.4	50.8	54.69

* Incluye el volumen que captó la fosa 1

** Incluye el volumen que captó la fosa 4

- Los resultados que se obtuvieron de la simulación para las condiciones actuales de la planta indican que es factible usar un reactor de biodiscos o rotatorio de aproximadamente 25 m³ para tratar un flujo de 2 m³/h con un tiempo de residencia de 12 horas e instalar un digestor de una capacidad de 50 litros de volumen de trabajo por día, el cual tratará los lodos que se generarían durante el tratamiento biológico.
- Es importante mencionar que la empresa no lleva a cabo un seguimiento analítico consuetudinario de su planta de tratamiento de aguas residuales. Aún cuando esto representa un costo, los ahorros que podrían obtenerse por concepto de reducción de consumo de reactivos y de disposición final de los residuos sólidos resultantes, cubrirían estos costos de monitoreo.

- Los resultados económicos hablan por sí mismos, éstos han sido calculados conservadoramente ya que los datos se han tomado a valor presente, y se deberá tomar en cuenta la siguiente consideración importante: Todos los costos se han evaluado como 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 de agua potable, razón por la cual los ahorros y retorno de la inversión serán mayores a los estimados en este documento.

VIII PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

VIII.1 Propuestas para la reducción de uso del agua de suministro

- Substitución de excusados, mingitorios, regaderas y grifos de lavabos para reducir el consumo de agua de casi 40 a 30 m³/d.
- Verificación de la conveniencia de "purgar" diariamente las regaderas y lavaojos de seguridad y posible colección de estas aguas con sistemas similares a los usados para las fuentes (que incluso permitirían segregar estas aguas en caso de un accidente real del resto de los drenajes). Es necesaria la supervisión y capacitación en esta actividad para evitar desperdicios por la mala realización de la prueba. Se propone disminuir la frecuencia de la prueba, mediante ensayos que permitan corroborar el lapso máximo (p. ej. cada tercer día o dos veces por semana).
- Reducir el tiempo de riego y programar esta actividad para el mejor aprovechamiento del agua (se recomienda ajustar horarios de riego de 6-8 a.m. y 6-8 p.m. horas en que las pérdidas por evapotranspiración son mínimas). Evitar el uso de la manguera con la válvula totalmente abierta, racionalizando el consumo de agua. Si se reduce el tiempo de riego a la mitad en todas las áreas verdes el consumo aproximado de agua sería de 38 m³/d (en vez de 76.7 m³/d), obteniendo un ahorro del 50% en el consumo del recurso para este rubro.
- Se propone llevar a cabo un estudio más detallado del sistema de enfriamiento para disminuir el gasto del sistema sin que afecte el proceso de producción y, con esto, reducir el volumen de agua evaporada en las torres ya que éstas pueden tener eficiencias de hasta 4 a 5°C de gradiente de temperatura.

VIII.2 Propuesta de reuso de aguas residuales tratadas

De acuerdo con lo encontrado en este estudio se plantea la siguiente opción de tratamiento y reuso de las aguas usadas, residuales o de desecho, tanto de servicios como de proceso.

- Se propone la instalación de una planta de tipo biológico para el tratamiento del agua residual generada en la planta en combinación con la planta de tratamiento fisicoquímico ya existente en la planta de pinturas, eliminando la materia orgánica disuelta y transformándola en CO₂ gaseoso y biomasa microbiana semisólida ("lodos")

- Es factible la utilización del agua obtenida por el sistema de tratamiento en serie "físicoquímico-biológico" para:
 - abastecer las torres de enfriamiento,
 - en riego de áreas verdes

En la tabla I se presentan en forma sucinta las ventajas y desventajas técnicas de la propuesta de solución. Estas ventajas y desventajas, aunadas a la evaluación económica de costo/beneficio, determinarán la mejor opción para la empresa en estudio.

Tabla I. Tratamiento en serie físicoquímico-biológico

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • No se lleva a cabo obra civil por segregación de corrientes • No se requieren modificaciones de la infraestructura actual del sistema de tratamiento físicoquímico 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de mayores cantidades de reactivos para el tratamiento físicoquímico debido a que se tratarán 54.2 m³/d • Generación de mayores cantidades de lodos potencialmente peligrosos debido a que se tratarán 54.2 m³/d • El costo (tanto por inversión como por operación) de la planta de tratamiento biológico es mayor ya que debe tratar 54.2 m³/h • Posible inestabilidad en el sistema biológico por un mal funcionamiento del sistema físicoquímico que aumente la concentración de sustancias potencialmente tóxicas (aluminio, fluoruros, fenoles, etc.)

VIII.3 Propuestas a futuro

- Montar canaletas en los techos de las instalaciones de la planta para coleccionar el agua pluvial y canalizarla adecuadamente impidiendo que se mezcle con los desagües de proceso y/o de servicios.

- Captar el agua pluvial en fosas separadas para ser utilizada y/o tratada (sin tratamiento en el riego de áreas verdes y tratada para todos los servicios)
- Sellar los alcantarillados para agua pluvial en las áreas de proceso para evitar el desperdicio de agua por el uso inmoderado de mangueras de lavado por parte del personal de la planta y, obviamente, la dilución de las aguas residuales (que, como ya se mencionó, hace el tratamiento más costoso).

IX. CONCLUSIONES FINALES

Con este estudio específico, la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de su Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la Facultad de Química, coadyuvó en la resolución de una problemática específica del sector industrial que, en este proyecto, fue la de usar más racionalmente el agua (uso más eficiente del agua) de una planta de pinturas.

Los objetivos iniciales del proyecto que la empresa en estudio planteó a la UNAM fueron los siguientes:

- a) Disminuir el volumen total de agua extraída del pozo artesiano hasta un 60% de los niveles actuales
- b) Obtener una mejor calidad de agua en el sistema de tratamiento de aguas existente
- c) Diseñar un programa de uso eficiente del agua
- d) Asegurar el cumplimiento de los límites establecidos en la normatividad ambiental mexicana para descargas de aguas residuales

Asimismo, con base en este estudio se plantearon las siguientes propuestas:

- para disminuir el consumo de agua de suministro se requiere de un programa de racionalización del recurso basado en la concientización del personal, en cambios (y/o adecuación) de mobiliario y accesorios sanitarios y en el reuso de las aguas residuales o usadas o servidas en el proceso (sobre todo en los sistemas de enfriamiento) y para el riego de las áreas verdes.
- para la reutilización de las aguas residuales generadas en la planta, se recomienda estudiar el tratamiento posterior de esas aguas con un sistema biológico que, al ser instalado en serie con el tratamiento de aguas residuales fisicoquímico ya existente (que elimina la presencia de concentraciones tóxicas de sustancias originadas en los diferentes procesos) se elimina el exceso de materia orgánica lo cual permitirá su uso en los sistemas de enfriamiento sin crear los problemas ya planteados de malos olores por reacciones de anaerobiosis, ni los de incrustaciones en los ductos, ni los de proliferación de algas y otros organismos sobre las superficies de enfriamiento de las torres.

El ahorro en el consumo de agua que se obtiene se muestra en la tabla II y en la figura 4 y, como se puede observar, se puede llegar a un ahorro estimado del 65.4%, cumpliendo ampliamente con los objetivos planteados en un inicio por la planta de pinturas.

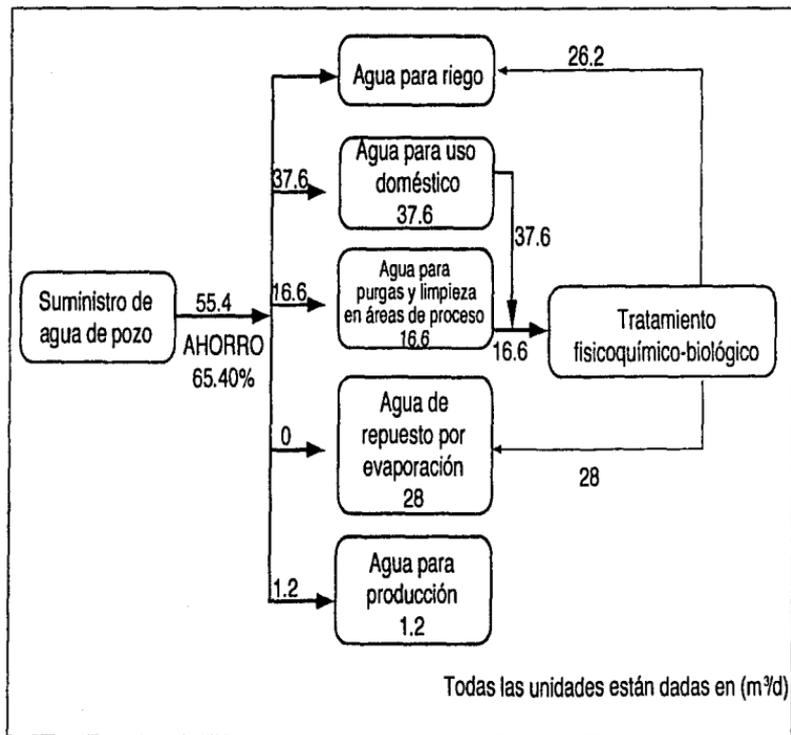
De acuerdo a la evaluación económica, el reactor de discos biológicos rotatorios se pagará en 3.057 años, generando dentro de su vida útil un ahorro de \$1,711,050.58.

Dentro de las ventajas de la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales se obtendrían los siguientes beneficios:

- a) Cumplir con las normas de descarga fijadas por la entidad normativa y así evitar posibles multas y hasta clausura o, en el mejor de los casos, pagar altos costos por el volumen y composición de los efluentes descargados a los cuerpos receptores.
- b) El hecho de minimizar la contaminación lo cual implica salud e higiene para los habitantes de las comunidades cercanas y aún las remotas (en caso de que consumieran hortalizas regadas con ese efluente).
- c) Dar una buena imagen a la comunidad quien apoyará y agradecerá la creación de empleos sin generar problemas de sanidad.
- d) Un importante elemento publicitario ya que es muy común encontrar anuncios en periódicos, revistas especializadas y aún en televisión, sobre las industrias ó desarrollos inmobiliarios de todo tipo que recalcan que ellos no contaminan. En una época en que toda la población se preocupa por este gran problema, este tipo de anuncios les genera aceptación por la comunidad y una importante atención sobre las industrias y sus productos.
- e) Conservación del agua potable ya que al reusar el agua tratada, se apoyará al uso moderado y disponibilidad futura de este recurso, cada vez más escaso.
- f) Tranquilidad al saber que la empresa no tiene posibilidades de clausura por contaminar, la comunidad no la presionará al considerarla indeseable y con la propia conciencia de los dueños y empleados al saber que no están dañando a la población, a la vida acuática ni a los consumidores de productos agrícolas, que en algún momento pudieran llegar a ser regados con sus efluentes.

Tabla II. AHORRO ESTIMADO EN EL CONSUMO DE AGUA FRESCA

<ul style="list-style-type: none"> • Racionalización de hasta un 50% del consumo del agua utilizada en riego • Racionalización de hasta un 25% del consumo del agua utilizada en los servicios • Reutilización de 54.2 m³/d de agua tratada en riego y torres de enfriamiento • Se extraerán del pozo aproximadamente 55.4 m³/d de agua fresca. 	<p>Existe un ahorro global de 65.40% (104.7 m³/d)</p>
---	--



X.-BIBLIOGRAFÍA

- DGCOH, 1987, "Criterios de control de calidad del agua renovada". Secretaria de Obras y Servicios, DDF, México D.F., México.
- Durán de Bazúa, C., 1994, "Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso", PIQAYQA-FQ-UNAM, México D.F. México.
- 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 & Eddy, 1991, "Wastewater engineering treatment, disposal, and reuse". McGraw Hill, Nueva York, EEUA. Pp. 20-137, 1103-1195
- Mexicana General de Bombeo, 1996, "Bio-reactor AMDS". México, D.F. México.
- Montgomery, J.M., 1985, "Water treatment principles and design", John Wiley & Sons. Nueva York, EEUA. Pp. 63-465.
- NOM-AA-3-1980, "Aguas residuales - Muestreo". Dirección General de Normas. Pp. 1-5.
- 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". Secretaría de Desarrollo Social. Pp. 114-119. México, D.F. México.
- Seoane, M., 1995, "Ecología industrial : Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa", Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. Pp. 117-118

ANEXO A

DIAGRAMAS

DIAGRAMA A.1
ESQUEMA GENERAL DE LA
PLANTA EN ESTUDIO

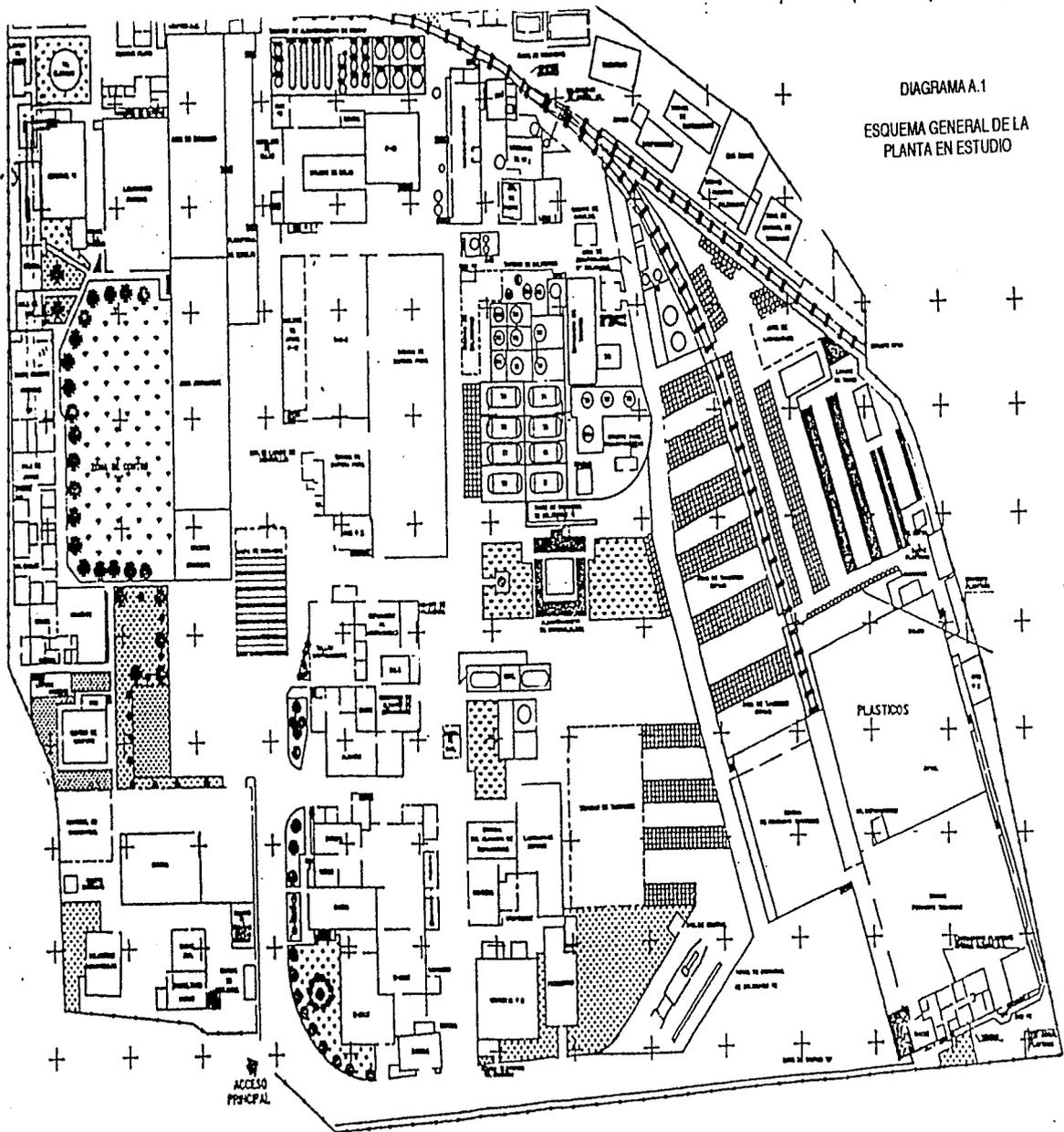


DIAGRAMA A.2
AREAS DE CONSUMO DE
AGUA DOMESTICA
(A.D.)

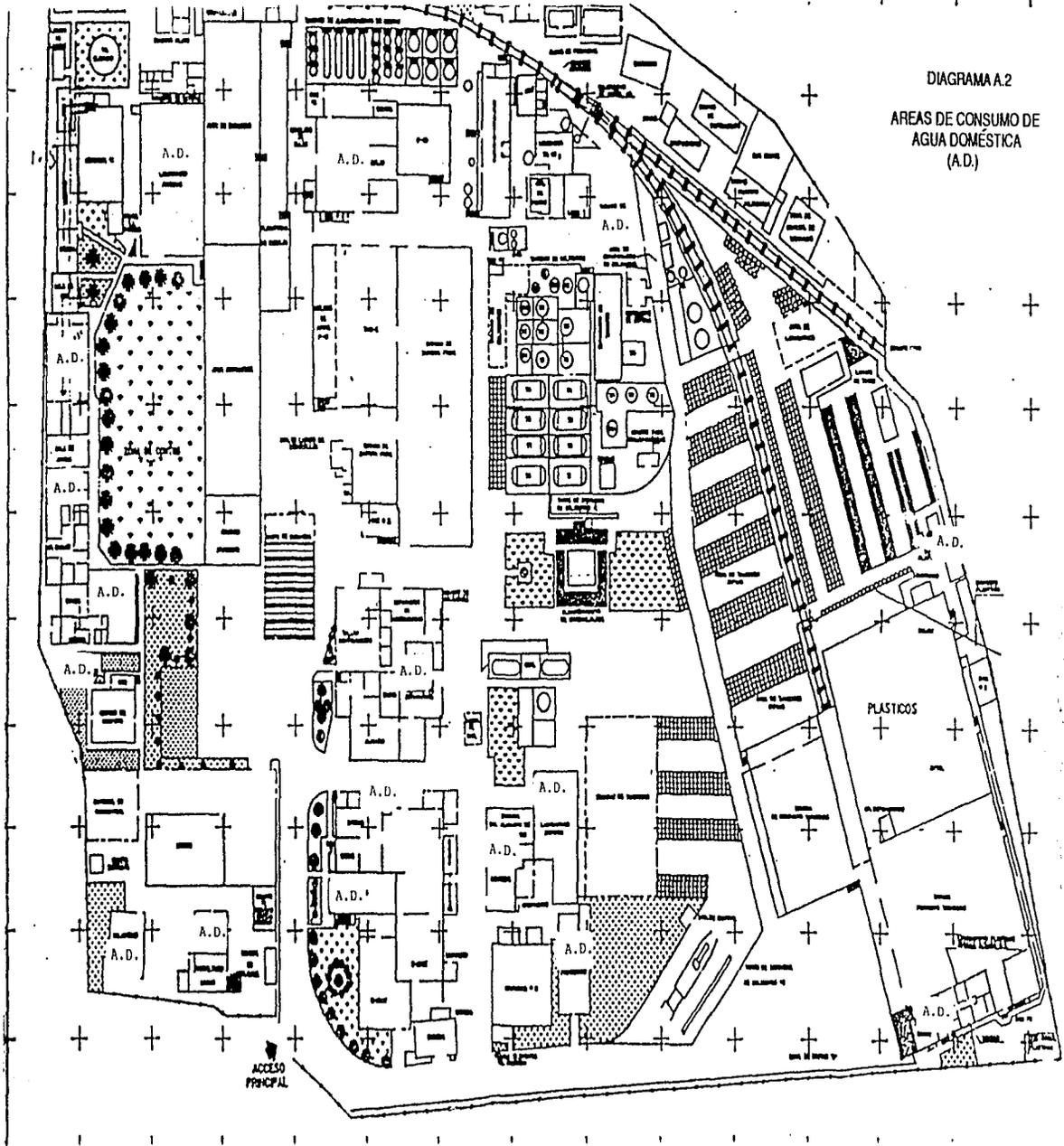


DIAGRAMA A.3

AREAS DONDE EXISTEN
REGADERAS Y LAVAJOS DE
SEGURIDAD
(R-L)

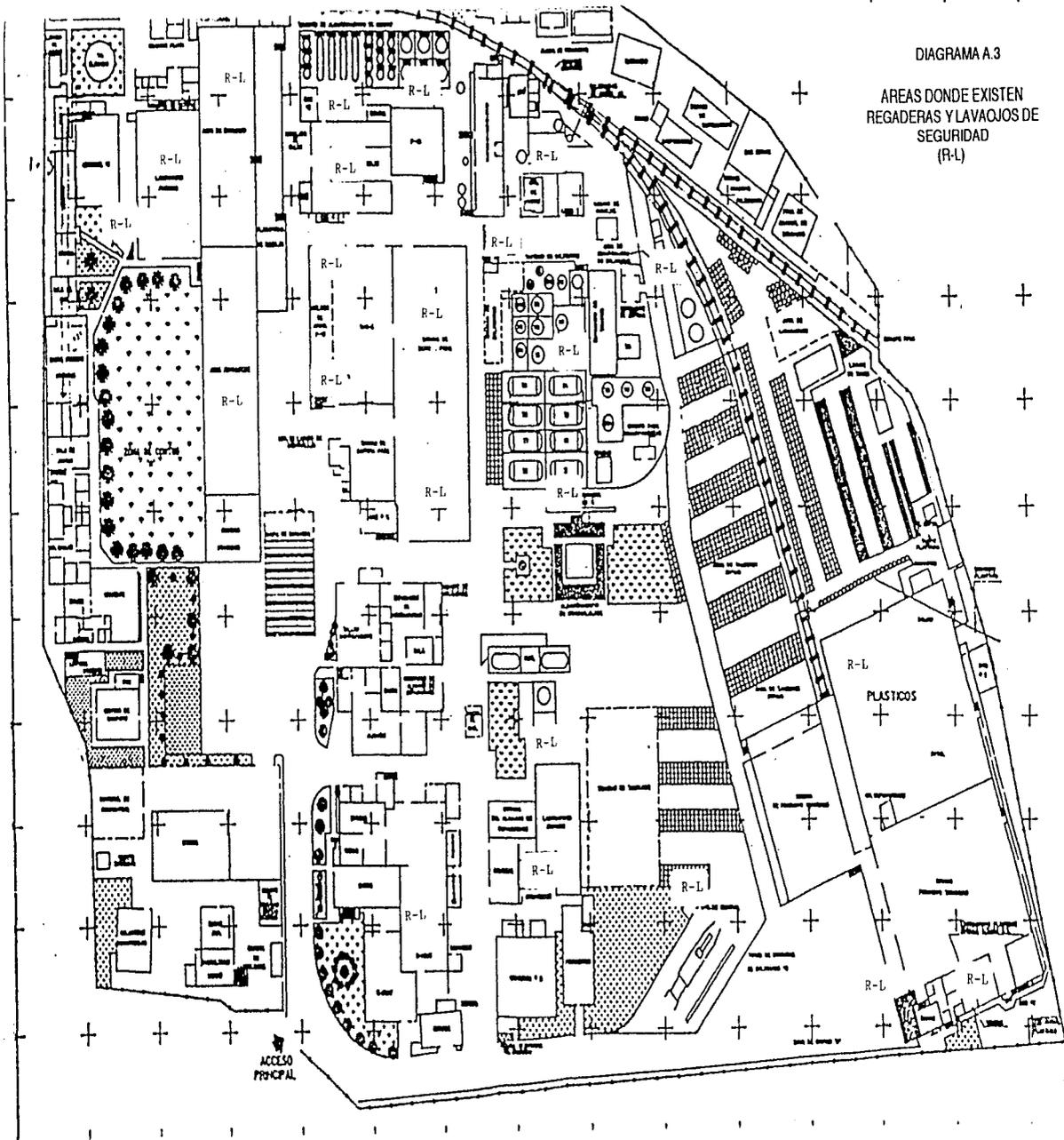


DIAGRAMA A.4

AREAS DE PROCESO DE LA
PLANTA
(A.P.)

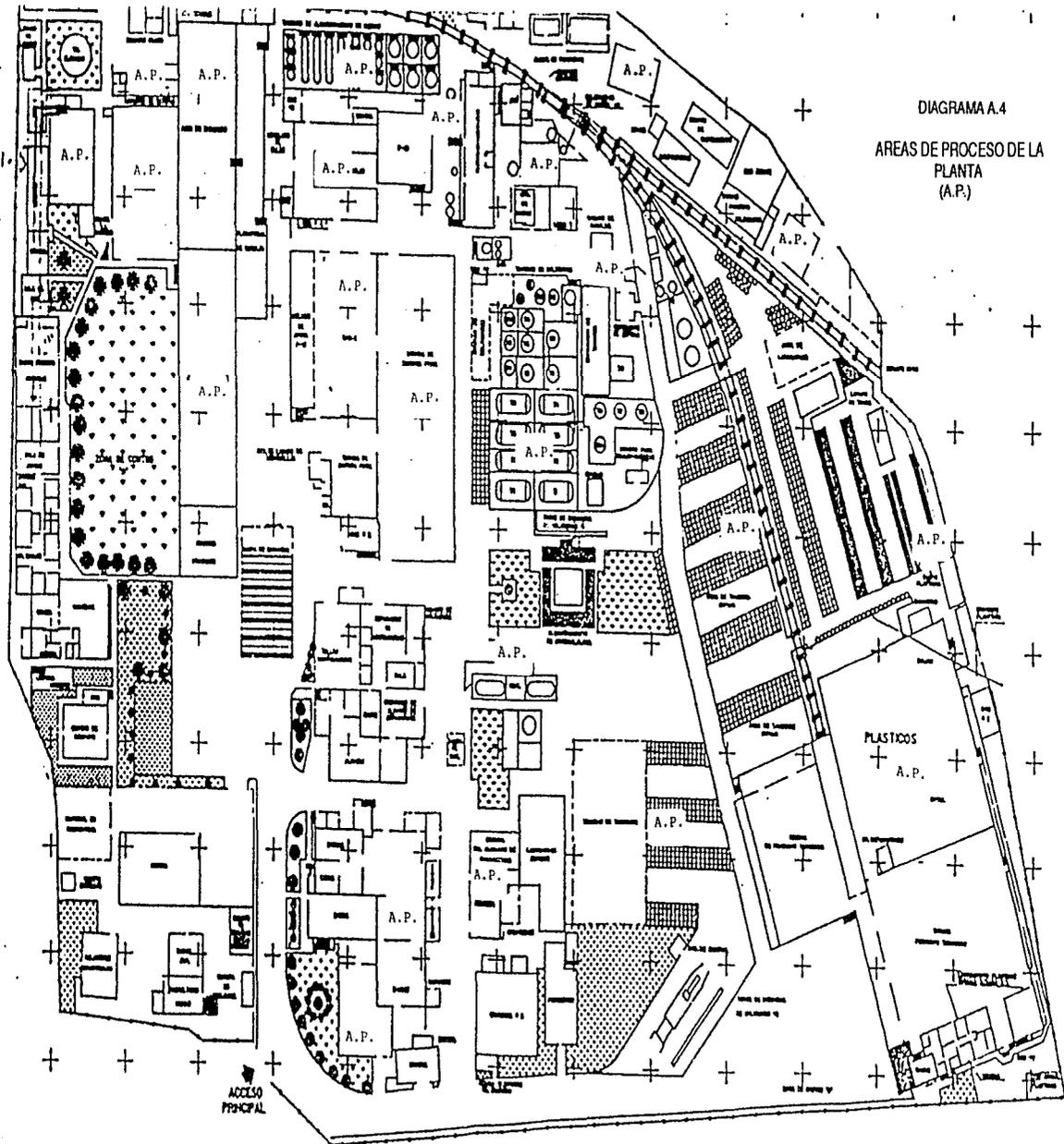


DIAGRAMA A.5
AREAS QUE UTILIZAN AGUA
DE ENFRIAMIENTO
(A.E.)

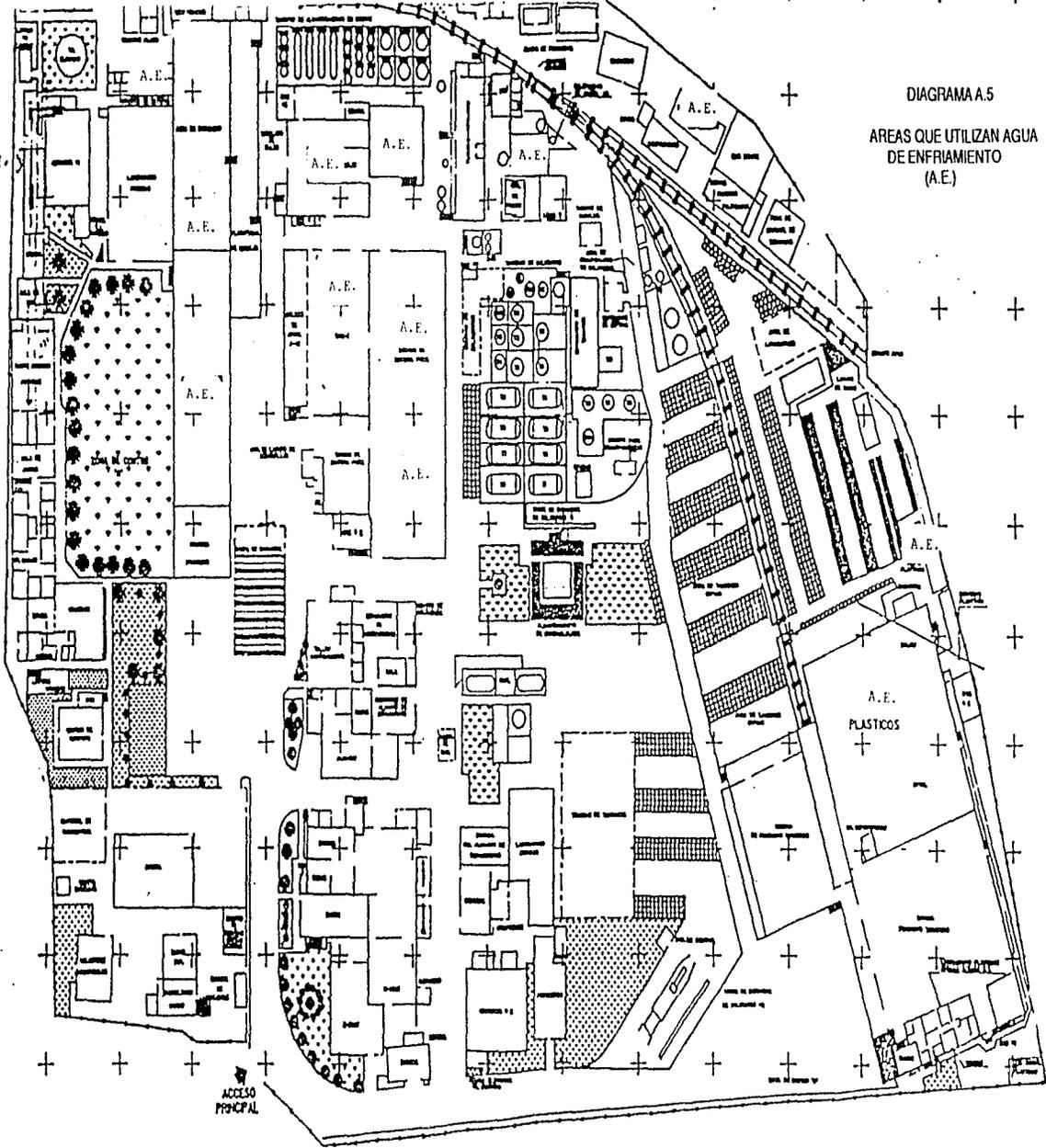


DIAGRAMA A.6

ESQUEMA GENERAL DE LA RED
DE DRENAJES DE LA PLANTA

- AGUA DE PROCESO
- AGUA DOMÉSTICA
- AGUA COMBINADA

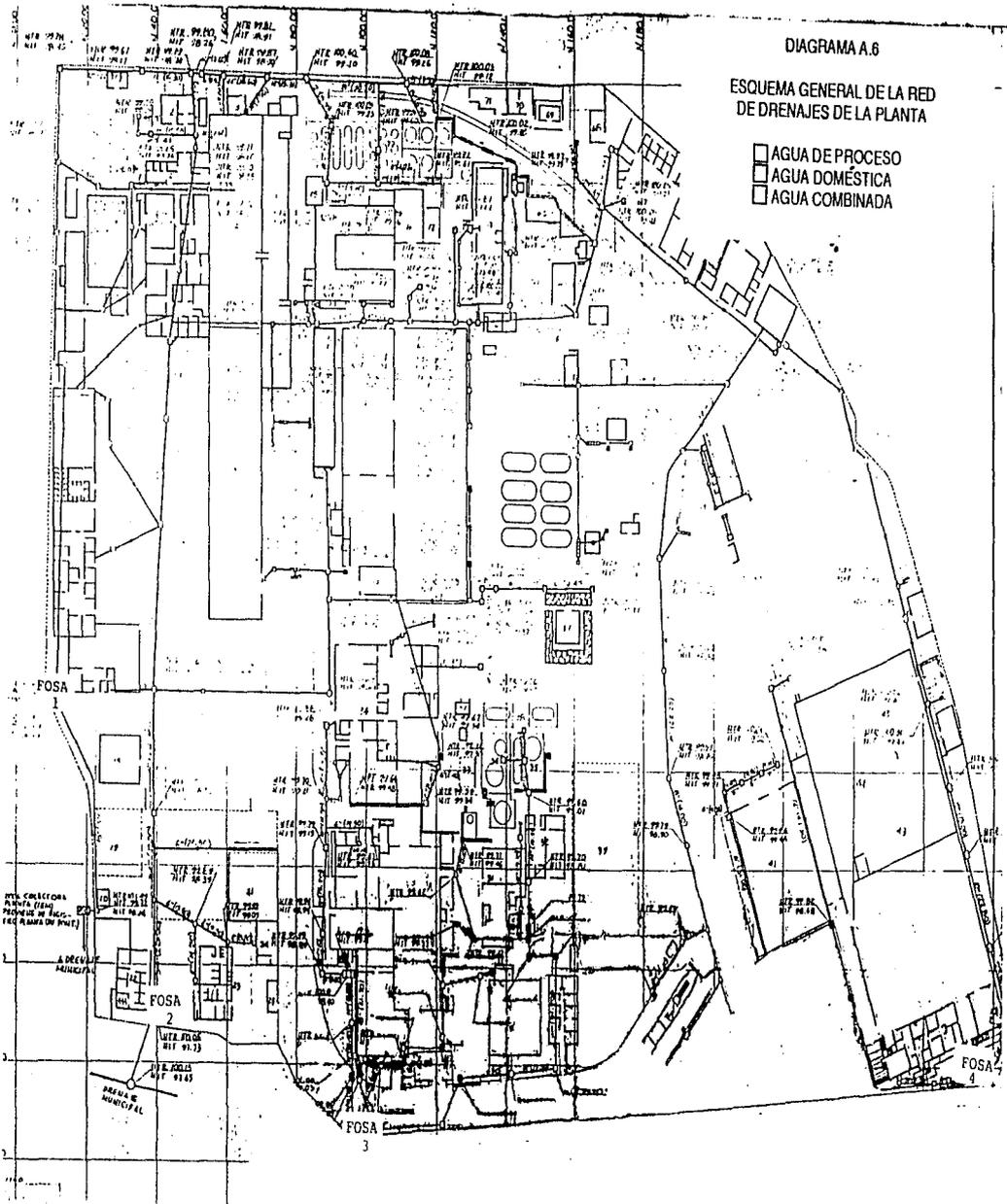


DIAGRAMA A.7

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS
SELECCIONADOS PARA LA
TOMA DE MUESTRAS DE
AGUA RESIDUAL
(P.M.)

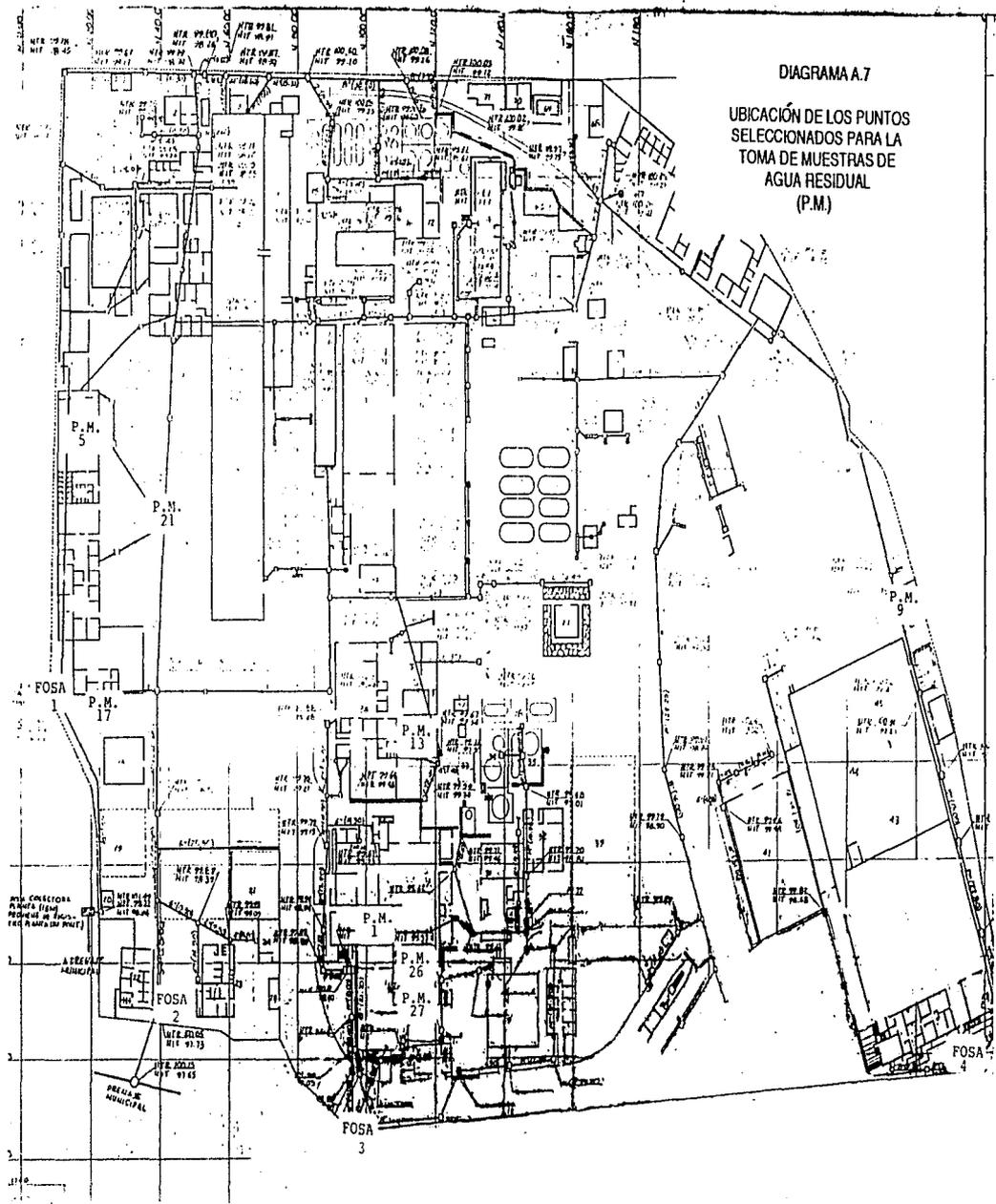
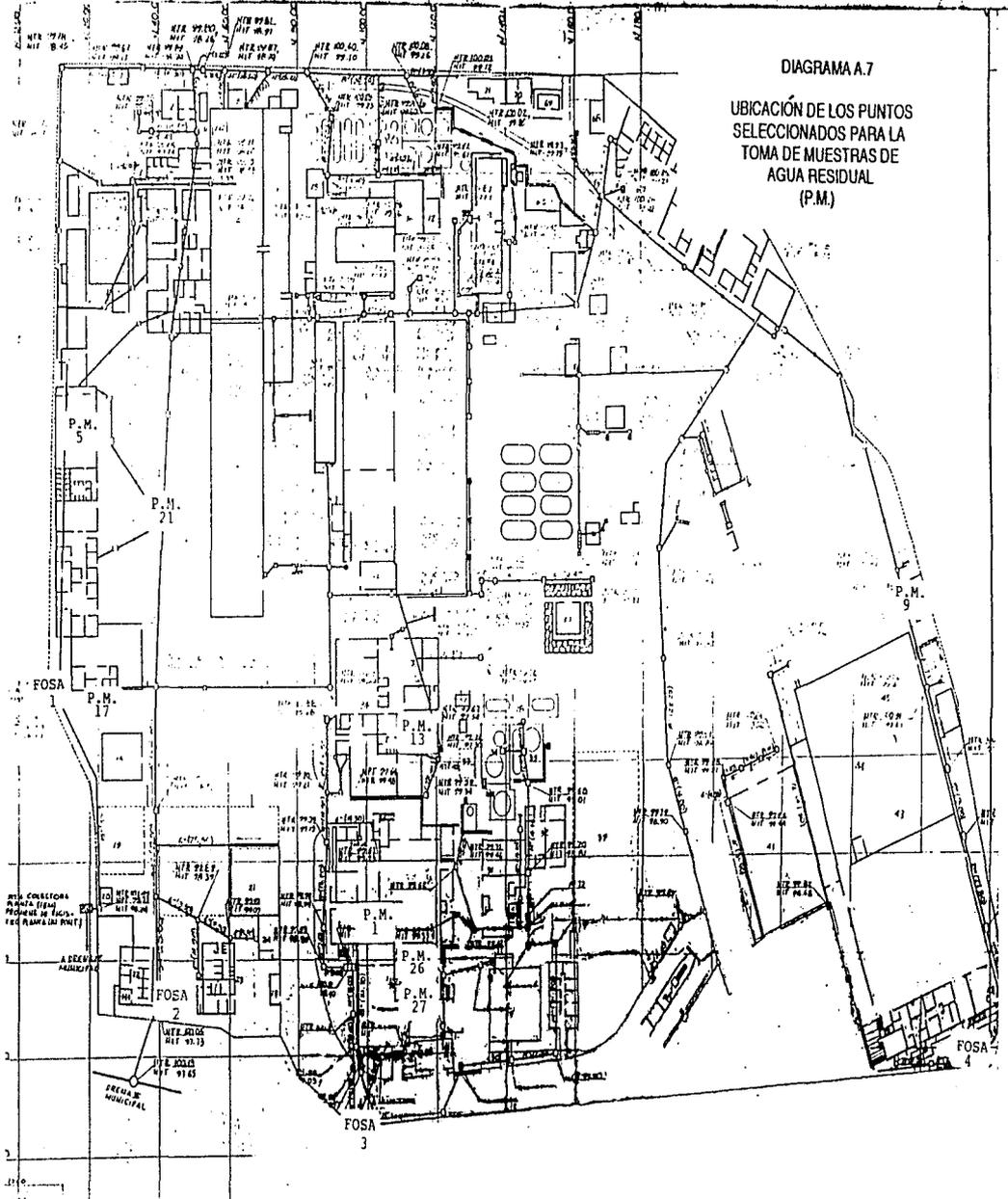


DIAGRAMA A.7

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL (P.M.)



ANEXO B
INFORMACION DE CAMPO

TABLA E.1

Mediciones obtenidas en lavasijos de seguridad

Area	*Tiempo (seg)	Volúmen (mL)
Reactor piloto	1	410
	1	420
	1	400
	Volúmen promedio (mL)	410
Molinos de bolas	1	420
	1	430
	1	410
	Volúmen promedio (mL)	420
Plásticos	1	410
	1	420
	1	430
	Volúmen promedio (mL)	420
Caldera	1	390
	1	410
	1	400
	Volúmen promedio (mL)	400
Refinish	1	400
	1	410
	1	390
	Volúmen promedio (mL)	400
Volúmen promedio total (L/seg). Duración de la prueba:15 seg		410
Volúmen promedio consumido en cada prueba (L)		6.1

*Tiempo empleado para medir el volúmen de descarga

TABLA B.1.1

Mediciones obtenidas en regaderas de seguridad

Area	*Tiempo (seg)	Volúmen (mL)
Reactor piloto	3	8350
	3	8360
	3	8370
Volúmen promedio (mL)		8360
Molinos de bolas	3	8390
	3	8370
	3	8380
Volúmen promedio (mL)		8380
Plásticos	3	8200
	3	8400
	3	8300
Volúmen promedio (mL)		8300
Caldera	3	8360
	3	8350
	3	8370
Volúmen promedio (mL)		8360
Refinish	3	8300
	3	8400
	3	8200
Volúmen promedio (mL)		8300
Volúmen promedio total (L/seg). Duración de la prueba: 15 seg		2.780
Volúmen promedio consumido en cada prueba (L)		41.7

*Tiempo empleado para medir el volúmen de descarga

TABLA B.2

Mediciones obtenidas en regaderas para uso personal

Area	*Tiempo (seg)	Volúmen (mL)
Pinturas	20	1500
	20	1450
	20	1480
Volúmen promedio (mL)		1476.66
Intermedios y Refinish	20	2250
	20	2100
	20	2200
Volúmen promedio (mL)		2183.33
Mantenimiento	20	1930
	20	1850
	20	1950
Volúmen promedio (mL)		1910
Limpieza y cafetería	20	2250
	20	2260
	20	2260
Volúmen promedio (mL)		2256.66
Plásticos	20	2870
	20	2225
	20	2790
Volúmen promedio (mL)		2628.33
Volúmen promedio total (Litros)		0.184

*Tiempo de duración de la prueba

TABLA B.3
Mediciones obtenidas en excusados

Area	*Tiempo (seg)	Volúmen (mL)
Pinturas	7	13450
	7	13520
	7	13380
	Volúmen promedio (mL)	13450
Intermedios y Refinish	7	13600
	7	13610
	7	13650
	Volúmen promedio (mL)	13620
Mantenimiento	7	13700
	7	13600
	7	13680
	Volúmen promedio (mL)	13660
Limpieza y cafeteria	7	13300
	7	13250
	7	13230
	Volúmen promedio (mL)	13260
Plásticos	7	13300
	7	13360
	7	13300
	Volúmen promedio (mL)	13330
Volúmen promedio total (Lisug)		13.5

*Tiempo en que descargaba el excusado

TABLA B.4
Mediciones obtenidas en mingitorios

Area	*Tiempo (seg)	Volúmen (mL)
Pinturas	10	8000
	10	7980
	10	8100
Volúmen promedio (mL)		8026.66
Intermedios y Refinish	10	8775
	10	8620
	10	8790
Volúmen promedio (mL)		8728.33
Mantenimiento	10	8550
	10	8379
	10	8610
Volúmen promedio (mL)		8513
Limpieza y cafetería	10	8622
	10	8618
	10	8590
Volúmen promedio (mL)		8610
Plásticos	10	8720
	10	8695
	10	8730
Volúmen promedio (mL)		8715
Volúmen promedio total (mL./seg)		851.85
Tiempo de una descarga (seg)	6	
Volúmen promedio por descarga (L)		5.1

*Tiempo empleado para medir la descarga del mingitorio

TABLA B.5
Mediciones obtenidas en lavabos

Area	*Tiempo (seg)	Volúmen (mL)
Pinturas	5	450
	5	460
	5	460
Volúmen promedio (mL)		456.66
Intermedios y Refinish	5	680
	5	680
	5	690
Volúmen promedio (mL)		683.33
Mantenimiento	5	640
	5	630
	5	640
Volúmen promedio (mL)		636.66
Limpieza y cafetería	5	550
	5	560
	5	560
Volúmen promedio (mL)		556.66
Plásticos	5	560
	5	570
	5	570
Volúmen promedio (mL)		566.66
Volúmen promedio total (L) para un lavado de manos		1.2

*Tiempo de duración de un lavado de manos

TABLA B.6

Diferencia de temperatura del agua de enfriamiento

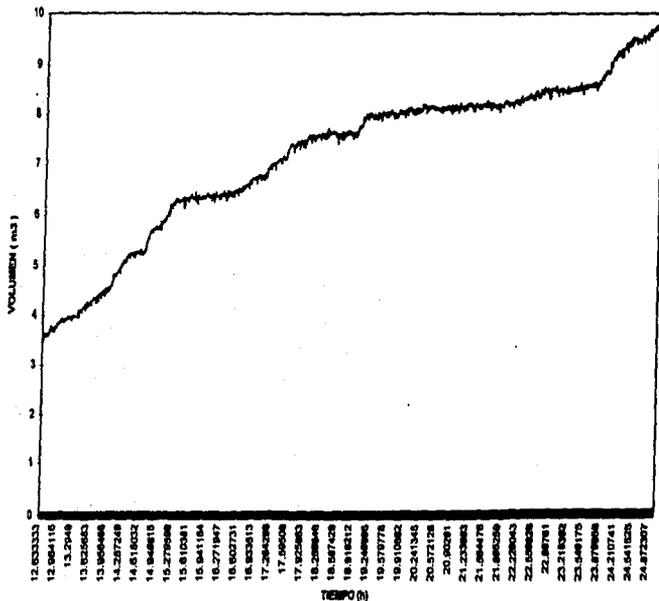
Equipo	Temperatura de entrada (grados Centígrados)	Temperatura de salida (grados Centígrados)	Diferencia de temperatura (grados Centígrados)
Reactor R-01	22	23	1
Reactor R-02	22	23.5	1.5
Molino M-01	17	17.5	0.5
Molino M-02	17	18	1
Molino M-03	17	18.5	1.5
Molino M-04	17	18.5	1.5
Molino M-05	17	17.5	0.5
Molino M-06	17	18	1
Molino M-07	17	19	2
Tanque TQ-01	18	19	1
Tanque TQ-02	18	18.5	0.5
Tanque TQ-03	18	20	2
Tanque TQ-04	18	19	1
Tanque TQ-05	18	19	1
Condensador C-030	17	20	3
Condensador C-031	17	20	3
Condensador C-034	17	20	3

ANEXO C

GRAFICAS DE LAS MEDICIONES EN FOSAS DE RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES

MEDICIÓN SIN LLUVIA

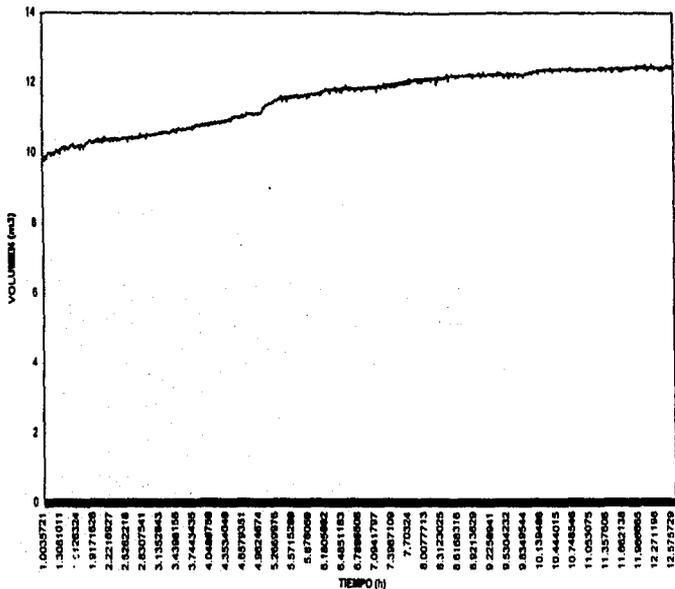
FOSA UNO (13-OCTUBRE-85)



VOLUMEN GENERADO : 6.45 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

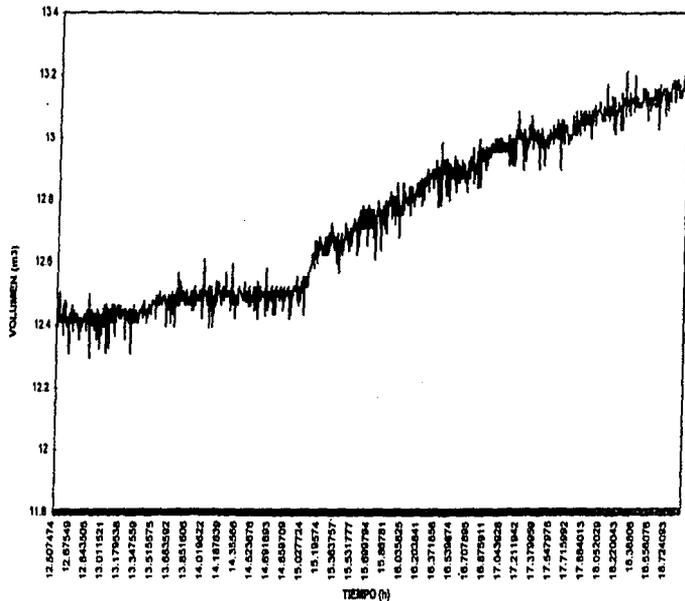
FOSA UNO (14 - OCTUBRE - 96)



VOLUMEN GENERADO : 2.75 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

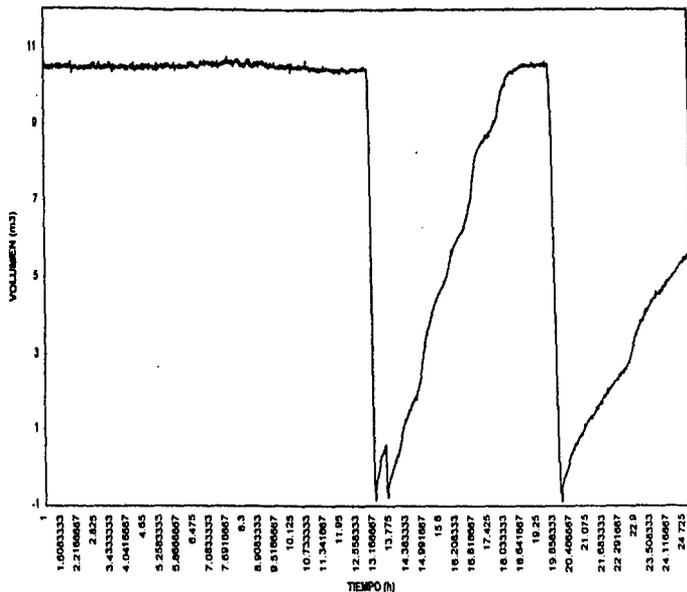
FOSA UNO (14-OCTUBRE-89)



VOLUMEN GENERADO : 0.92 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

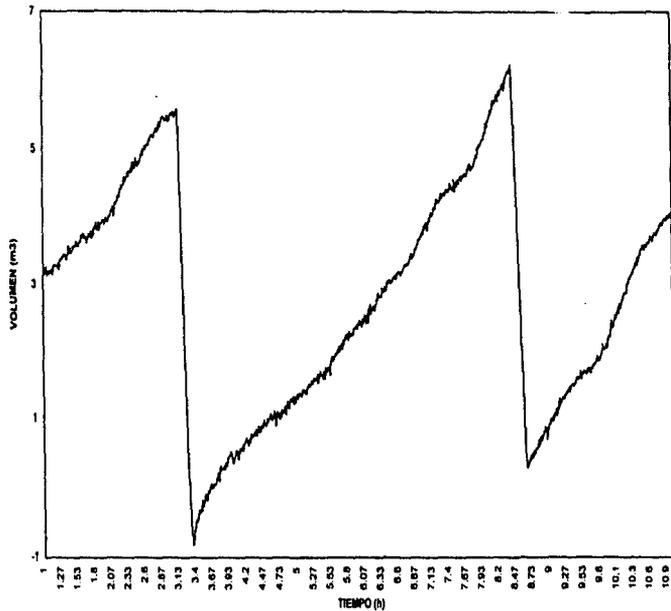
FOSA DOS (18-NOVIEMBRE-86)



VOLUMEN GENERADO = 13.837 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

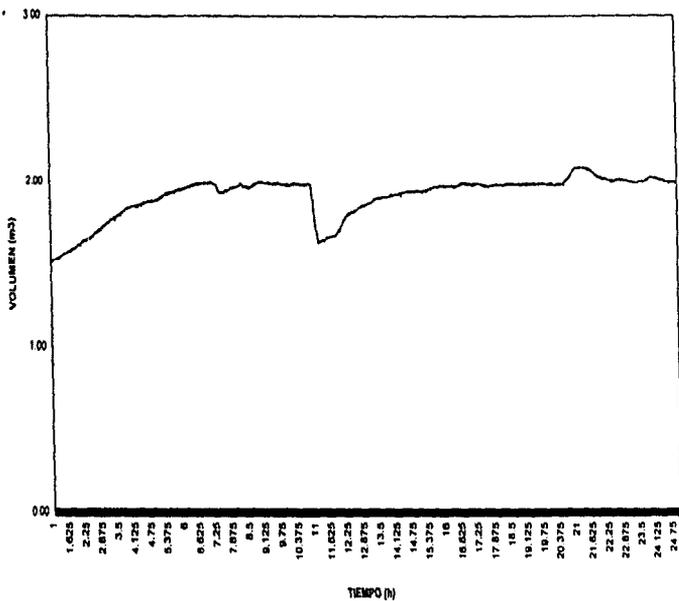
FOSA DOS (16-NOVIEMBRE-88)



VOLUMEN GENERADO = 12.41 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

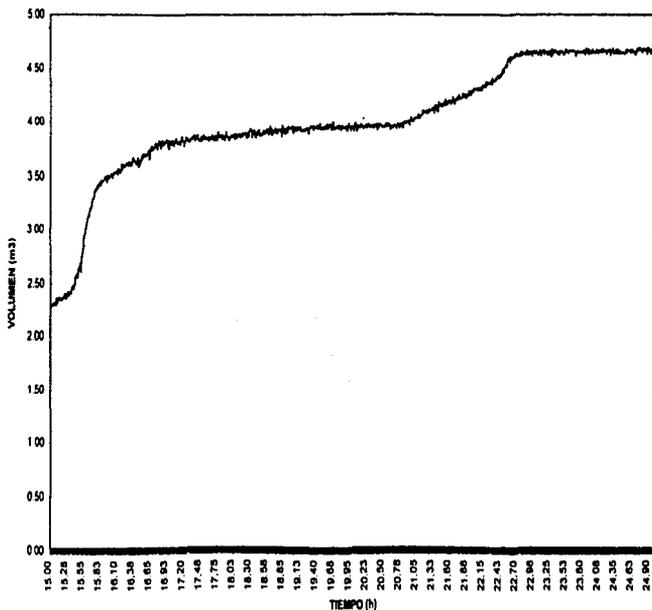
FOSA DOS (18-NOVIEMBRE-85)



VOLUMEN GENERADO = 0.97 m³

MEDICIÓN SIN LLUVIA

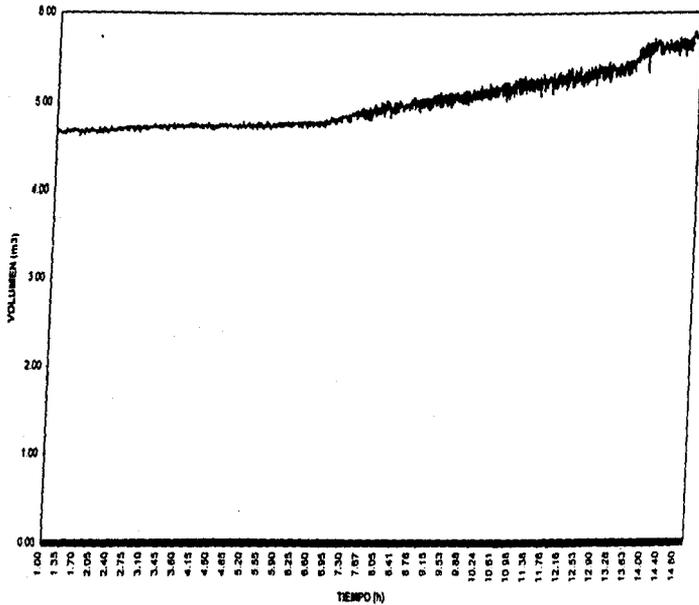
FOSA TRES (31-JULIO-95)



VOLUMEN GENERADO = 2.42 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

FOSA TRES (1-AGOSTO-86)

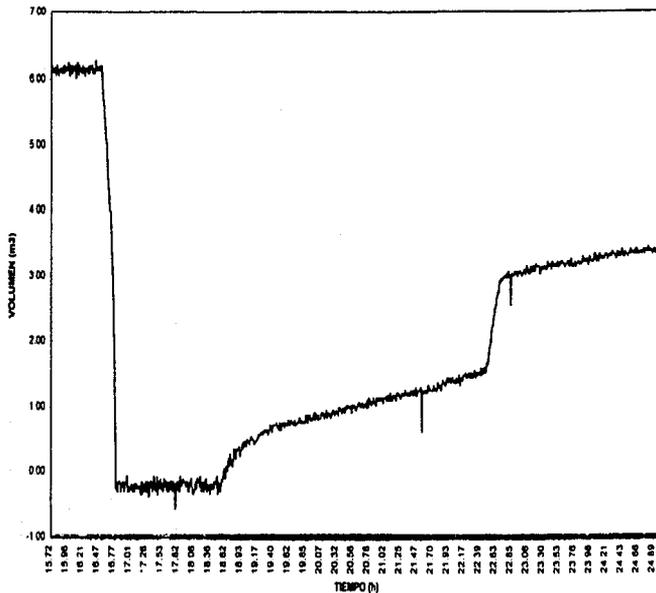


VOLUMEN GENERADO = 1.21 m3

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

MEDICIÓN SIN LLUVIA

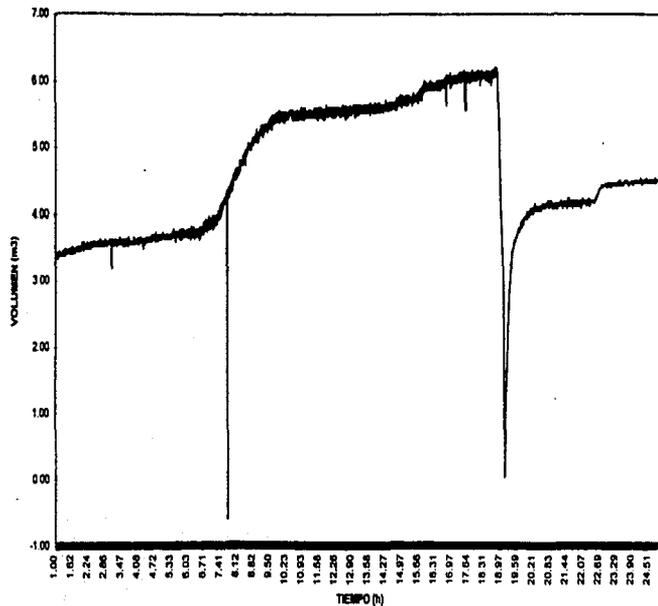
FOSA TRES (1-AGOSTO-95)



VOLUMEN GENERADO = 3.44 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

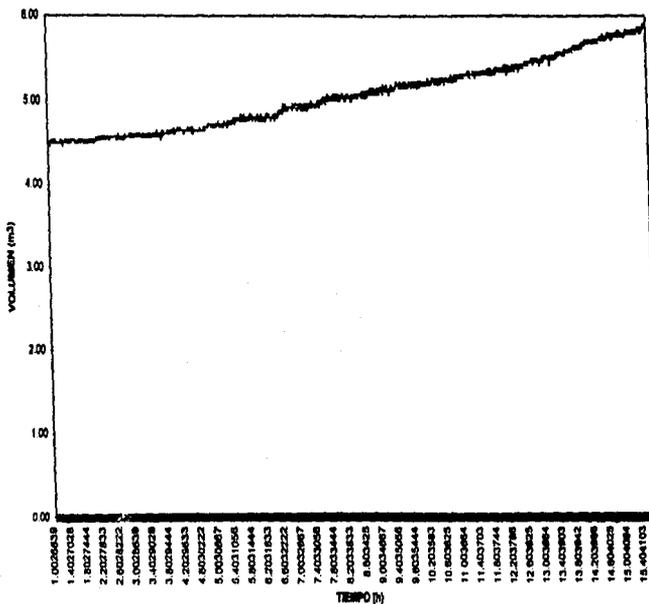
FOSA TRES (2-AGOSTO-96)



VOLUMEN GENERADO = 6.81 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

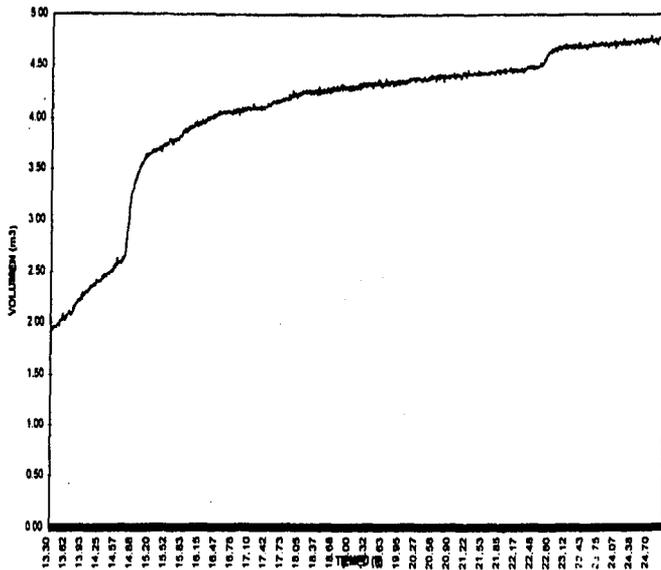
FOSA TRES (3-AGOSTO-88)



VOLUMEN GENERADO = 1.44 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

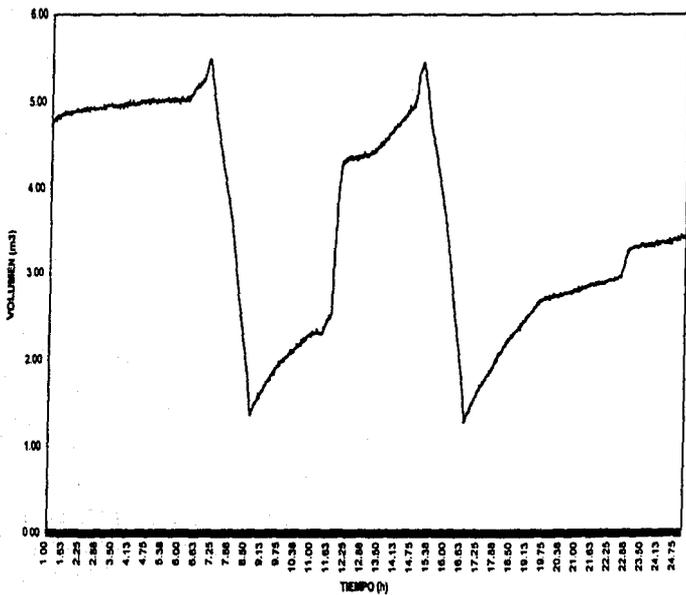
FOBA CUATRO (8-NOVIEMBRE-85)



VOLUMEN GENERADO = 2.90 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

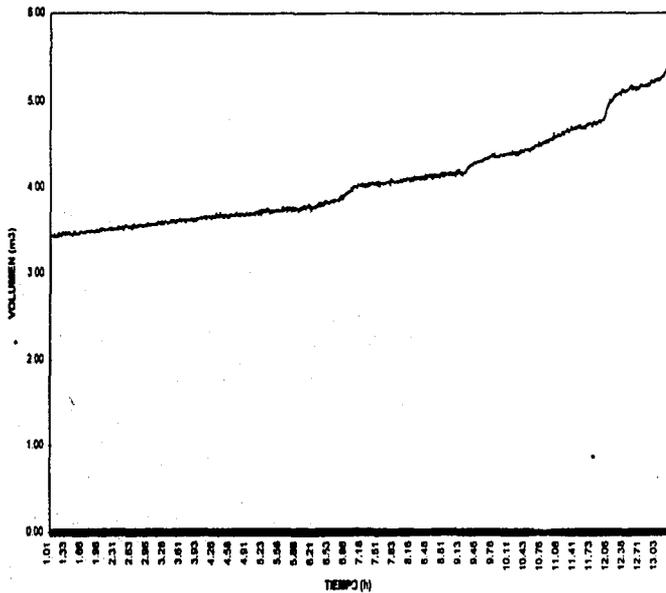
FOSA CUATRO (7-NOVIEMBRE-95)



VOLUMEN GENERADO = 7.06 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

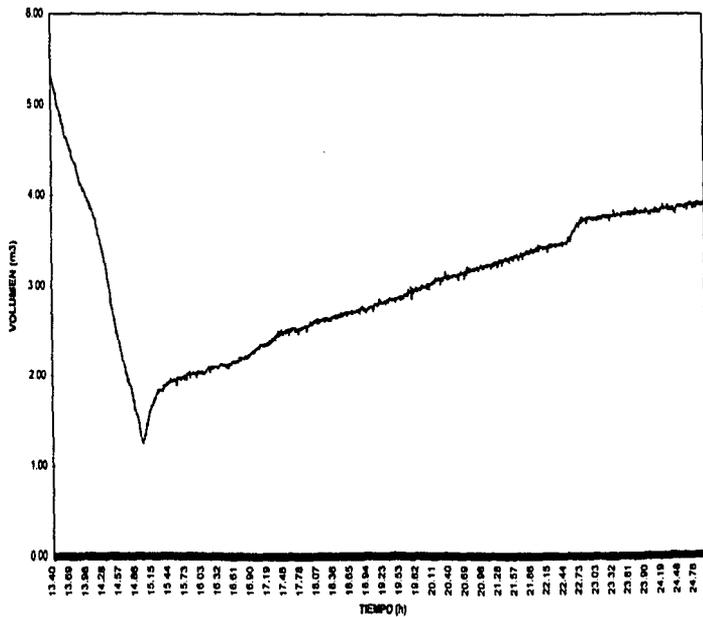
FOSA CUATRO (8-NOVIEMBRE-99)



VOLUMEN GENERADO = 1.93 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

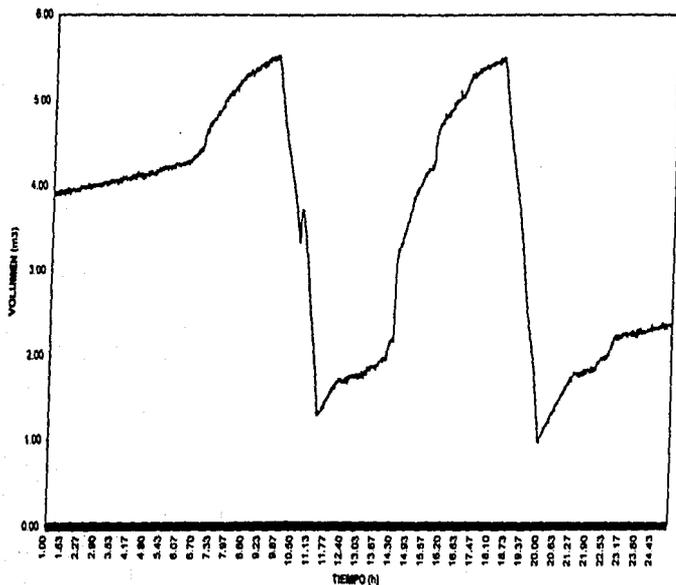
FOBA CUATRO (8-NOVIEMBRE-95)



VOLUMEN GENERADO = 2.68 m3

MEDICIÓN SIN LLUVIA

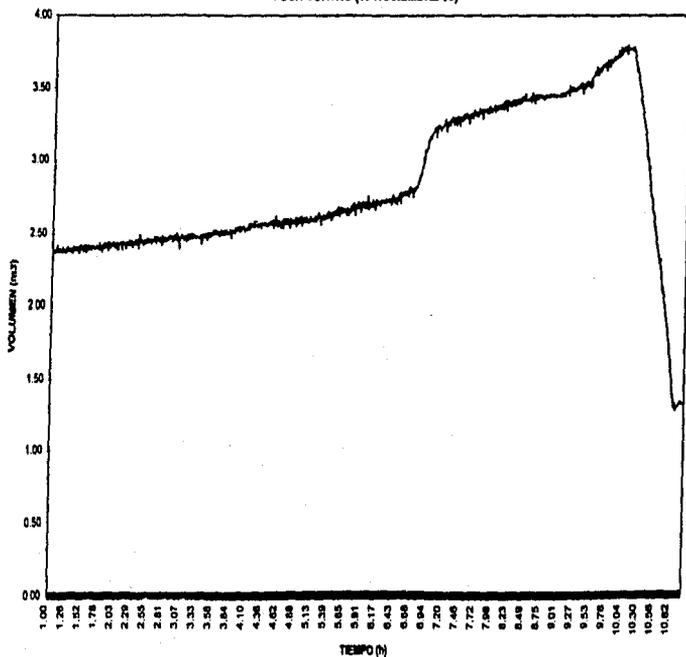
FOBA CUATRO (8-NOVIEMBRE-95)



VOLUMEN GENERADO = 7.3 m³

MEDICIÓN SIN LLUVIA

FOSA CUATRO (10-NOVIEMBRE-85)



VOLUMEN GENERADO = 1.44 m3

ANEXO D

DATOS DE LAS SIMULACIONES CON EL PROGRAMA *ENPRO*

 **
 * SIMULATION SCIENCES INC. *
 **

```

EEEE N N P P P P R R R R O O O T M
E NN N P P R R O O
E NN N P P R R O O
EEEE NN N P P P P R R R R O O
E N N P R R O O
E N NN P R R O O
EEEE N N P R R O O
  
```

VERSION 1.1

```

*****
* HEADQUARTERS ENPRO SUPPORT - DENVER OFFICE *
* ----- *
* FULLERTON, CALIF, USA SIMULATION SCIENCES, INC. *
* 3033 SOUTH PARKER ROAD *
* PHONE (714) 879-9180 4TH FLOOR *
* (800) 854-1198 (USA) AURORA, CO 80014 *
* (800) 231-0860 (CALIF.) *
* (800) 874-6724 (CANADA) PHONE (303) 750-1000 *
* FAX (714) 447-4107 FAX (303) 750-1955 *
*****
  
```

TM - ENPRO IS A TRADEMARK OF SIMULATION SCIENCES INC.
 SM - SIMSCI IS A SERVICE MARK OF SIMULATION SCIENCES INC.
 (c) COPYRIGHT 1991, UPDATED 1992,
 SIMULATION SCIENCES INC.
 ALL RIGHTS RESERVED

SIMULATION SCIENCES INC.

TM
ENPRO VERSION 1.1

PAGE 5-1
386/EM

PROJECT

INPUT

PROBLEM

SOURCE LISTING

PLANT/CASE

GENERAL

TITLE USER = PIQAYQA, PROJECT=dupond, PROBLEM=RESULTADOS, DATE=NOV 95

DIMENS METRIC

CALCULATIONS TRIALS = 2000

DESC *****

DESC TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON UN SISTEMA DE DISCOS BIOLOGICOS

DESC ROTATORIOS Y TRATAMIENTO DE LODOS EN UN DIGESOR

DESC *****

*

STREAM

PROP STRM=1.*

RATE(M3/H)=2.*

TEMP=21.*

PH=7.6.*

BOD=135.*

COD=530.*

TSS = 3.5

UNIT OPS

ABASIN UID=AB1,NAME=biodisc

FEED 1

PROD EFFL = 4, SLUD = 5

BSIN CSFR,SF=1.5,HRT=12,DO=2

KINET DMODEL = MONOD, DPARAM = 8, .07, .8, 100

CLARIF FPROD = DR, SVI = 120, LLR = .625

ANDIGEST UID=AB2,NAME=RECIP

FEED 5

PROD EFFLUENT = 6, SLUDGE = 7

STAGE TSS = 1, FS = 2

OPER TEMP = 21, SF = 1.5, RESIDENCE = .5

SIMULATION SCIENCES INC.

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT
HISTORY

PAGE H-1
386/EM

PROJECT
PROBLEM
PLANT/CASE

SCANNING:

GENERAL DATA
STREAM DATA

CHECKING:

GENERAL DATA
STREAM DATA

SCANNING UNIT DATA:

UNIT 3 - 'AS1' - 'biolisc'
UNIT 4 - 'AB2' - 'RECIP'

CHECKING UNIT DATA

GENERATING EXECUTION SEQUENCE

*** PROBLEM SOLUTION BEGINS

UNIT 2 SOLVED - 'AB1' - 'biolisc'
** WARNING ** UNIT 4, 'AB2', 'RECIP' - SPECIFIED SRT/HRT IS LOW - BOD

UNIT 4 SOLVED - 'AB2' - 'RECIP'
DESTRUCTION MAY NOT BE POSSIBLE

*** PROBLEM SOLUTION REACHED

RUN STATISTICS:

STARTED 20:47:01 01:12:96
FINISHED 20:47:08 01:12:96
RUN TIME 0 MIN, 6.76 SEC

NO ERRORS
1 WARNINGS

ENPRO CHARGE UNITS:
17.00

SIMULATION SCIENCES INC.

TM
ENPRO VERSION 1.1

PAGE H-1
386/EM

PROJECT
PROBLEM INPUT
PLANT/CASE HISTORY

SCANNING:

GENERAL DATA

STREAM DATA

CHECKING:

GENERAL DATA

STREAM DATA

SCANNING UNIT DATA:

UNIT 3 - 'AB1' - 'biolisc'

UNIT 4 - 'AB2' - 'RECIP'

CHECKING UNIT DATA

GENERATING EXECUTION SEQUENCE

*** PROBLEM SOLUTION BEGINS

UNIT 2 SOLVED - 'AB1' - 'biolisc'

** WARNING ** UNIT 4, 'AB2', 'RECIP' - SPECIFIED SRT/HRT IS LOW - BOD

UNIT 4 DESTRUCTION MAY NOT BE POSSIBLE

*** PROBLEM SOLUTION REACHED

RUN STATISTICS:

STARTED 20:47:01 01:12:96

FINISHED 20:47:08 01:12:96

RUN TIME 0 MIN, 6.76 SEC

NO ERRORS

1 WARNINGS

ENPRO CHARGE UNITS:

17.00

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT dupond
PROBLEM RESULTADOS

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT
INDEX

PAGE I-1
386/EM
PIQAYGA
nov 95

PAGE CONTENTS

1 CALCULATION SEQUENCE AND RECYCLES

5 AEROBIC DIGESTION
UNIT 3, 'AB1', 'biolisc'
7 ACTIVATED SLUDGE SUMMARY
UNIT 4, 'AB2', 'RECIP'
9 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

SIMULATION SCIENCES INC.

PROJECT dupond
PROBLEM RESULTADOS

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT

PAGE 1
386/EM
PIQAYGA
dic 95

CALCULATION SEQUENCE AND RECYCLES

CALCULATION SEQUENCE

3. UNIT 3, AS1 4. UNIT 4, AB2

SIMULATION SCIENCES INC.

PROJECT dupond
PROBLEM RESULTADOS

TM
ENPRO VERSION 1.1
OUTPUT
AERATION BASIN SUMMARY

PAGE 4
386/EM
PIQAYGA
nov 95

UNIT 3, 'AB1', 'biolisc'

FEED 1

PRODUCTS EFFLUENT = 4
SLUDGE = 5

OPERATING CONDITIONS

BASIN TYPE, CSTR

DEGRADATION PARAMETERS, MONOD KINETICS

K (1/DAY) AT 21.0 C	8.000
KD (1/DAY) AT 21.0 C	0.070
Y (MG MLVSS/MG BOD)	0.800
KS (MG BOD/L)	100.000

FRACTION OF INERTS PRODUCED

0.20

UNIT SPECIFIC PARAMETERS

BASIN VOLUME, M3
HRT, HRS

24.0
12.0

MIN SRT REQD FOR NITRIFICATION, DAYS
SAFETY FACTOR

2.2
1.5 94

	: KG/HR	2.70E-01	1.25E-02
PARTICULATE ORG.	: MG/L	0.00	0.00
	: KG/HR	0.00	0.00
BIOMASS	: MG/L	0.00	7.60
	: KG/HR	0.00	1.51E-02
NITROGEN			
TKN	: MG/L	0.00	0.00
NITRATE/NITRITE	: MG/L	0.00	0.00
	: KG/HR	0.00	0.00
TSS			
	: MG/L	1.68	10.00
	: KG/HR	3.36E-03	1.99E-02
VSS FRACTION OF TSS		0.5833	0.7966
DVSS FRACTION OF VSS		0.0000	0.9884
BIOMASS MAKEUP			
ACTIVE BIOMASS	: MG/L	0.00	7.87

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

TM
 ENPRO VERSION 1.1
 OUTPUT
 AERATION BASIN SUMMARY

PAGE 4
 386/EM
 PIQAYQA
 dic 95

	FEED	EFFLUENT	SLUDGE
FLOWRATE, M3/HR	2.00	1.99	8.52E-03
BOD, MG/L	135.0	13.86	17242.8
SOLUBLE, MG/L	133.2	6.26	6.3
PARTICULATE ORG., MG/L	1.8	0.00	0.0
BIOMASS, MG/L	0.0	7.60	17236.5
TSS, MG/L	3.5	10.00	22670.8
VSS FRACTION OF TSS	0.0000	0.7966	0.7966
DVSS FRACTION OF VSS	0.6500	0.9884	0.9884
TKN, MG/L	0.0	-10.32	-10.4
AMMONIA FRACTION	0.000	0.000	0.000
NITRATE/NITRITE, MG/L	0.0	0.00	0.0
BOD, KG/HR			
	0.3	0.0	0.1
SOLUBLE, KG/HR			
	0.3	0.0	0.0
PARTICULATE ORG., KG/HR			
	0.0	0.0	0.0
BIOMASS, KG/HR			
	0.0	0.0	0.1
TSS, KG/HR			
	0.0	0.0	0.2
TKN, KG/HR			
	0.0	0.0	0.0
NITRATE/NITRITE, KG/HR			
	0.0	0.0	0.0

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

TM
 ENPRO VERSION 1.1
 OUTPUT
 AERATION BASIN SUMMARY

PAGE 4
 386/EM
 PIQAYQA
 dic 95

	FEED	EFFLUENT	SLUDGE
FLOWRATE, M3/HR	2.00	1.99	8.52E-03 95

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT Dupont
PROBLEM RESULTADOS

TM
ENPRO VERSION 1.1
OUTPUT
ANAEROBIC DIGESTION SUMMARY

PAGE 7
J86/EM
PIQAYQA
dic 95

UNIT 4, 'AB2', 'RECIP'

FEED 5

PRODUCTS EFFLUENT = 6
SLUDGE = 7

OPERATING CONDITIONS

KINETIC PARAMETERS, GENERATED INTERNALLY

K (1/DAY)	4.11
KD (1/DAY)	0.01
Y (MG MLVSS/MG BOD)	0.04
KS (MG BOD/L)	9797.94

FRACTION OF INERTS PRODUCED 0.20

UNIT SPECIFIC PARAMETERS

DIGESTER VOLUME, M3	0.10
RESIDENCE TIME, DAYS	0.5
MINIMUM REQUIRED RESIDENCE TIME, DAYS	9.6

PROCESS TEMPERATURE, C	21.0
VSS DESTROYED, PERCENT	0.00
TSS DESTROYED, PERCENT	0.00

AMOUNT OF GAS PRODUCED, M3/HR	0.0
HEAT REQD FOR INFLUENT STREAM, M*KCAL/HR	0.00
HEAT CONTENT OF GAS PRODUCED, M*KCAL/HR	0.00

SECOND STAGE PARAMETERS

WEIGHT PERCENT SOLIDS IN SLUDGE	20.00
SOLIDS CAPTURE AS A FRAC. OF INFL. TSS	1.00

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupond
 PROBLEM RESULTADOS

TM
 ENPRO VERSION 1.1
 OUTPUT
 ANAEROBIC DIGESTION SUMMARY

PAGE 8
 186/EM
 PIQAYQA
 dlc 95

 UNIT 4, 'AB2', 'RECIP' (CONT)

	INFLUENT	EFFLUENT	SLUDGE
FLOWRATE, M3/HR	8.52E-03	7.59E-03	9.30E-04
BOD, MG/L	17242.8	6.3	157886.7
SOLUBLE, MG/L	6.3	6.3	6.5
PARTICULATE ORG., MG/L	0.0	0.0	157880.2
BIOMASS, MG/L	17216.5	0.0	0.0
TSS, MG/L	22670.8	0.0	207656.3
VSS FRACTION OF TSS	0.7966	0.0000	0.7966
OVSS FRACTION OF VSS	0.9884	0.0000	0.9884
TKN, MG/L	0.0	0.0	0.0
AMMONIA FRACTION	0.000	0.000	0.000
NITRATE/NITRITE, MG/L	0.0	0.0	0.0
BOD, KG/HR	0.1	0.0	0.1
SOLUBLE, KG/HR	0.0	0.0	0.0
PARTICULATE ORG., KG/HR	0.0	0.0	0.1
BIOMASS, KG/HR	0.1	0.0	0.0
TSS, KG/HR	0.2	0.0	0.2
TKN, KG/HR	0.0	0.0	0.0
NITRATE/NITRITE, KG/HR	0.0	0.0	0.0

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

TM VERSION 1.1
 ENPRO OUTPUT
 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

PAGE 9
 386/EM
 PIQAYQA
 dic 95

```

-----
STREAM ID          3          4          3          4
  NAME

MASS RATE, KG/HR      1993.9962      1985.3726
VOLUME RATE, M3/HR    2.0000      1.9913
TEMPERATURE, C       21.00      21.00
PH                   7.60      7.60

COD, MG/L            215.79      22.16
  : KG/HR            4.32E-01    4.41E-02
BOD (5-DAY), MG/L    135.00      13.86
  : KG/HR            2.70E-01    2.76E-02
SOLUBLE, MG/L        135.00      6.26
  : KG/HR            2.70E-01    1.25E-02
PARTICULATE ORG., MG/L  0.00      0.00
  : KG/HR            0.00      0.00
BIOMASS, MG/L        0.00      7.60
  : KG/HR            0.00      1.51E-02

NITROGEN
TKN, MG/L            0.00      0.00
NITRATE/NITRITE, MG/L 0.00      0.00
  : KG/HR            0.00      0.00

TSS, MG/L            1.68      10.00
  : KG/HR            3.36E-03    1.99E-02
VSS FRACTION OF TSS   0.5833    0.7966
DVSS FRACTION OF VSS 0.0000    0.9884

BIOMASS MAKEUP
ACTIVE BIOMASS, MG/L 0.00      7.87
  
```

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

TM VERSION 1.1
 ENPRO OUTPUT
 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

PAGE 9
 386/EM
 PIQAYQA
 dic 95

```

-----
STREAM ID          3          4          3          4
  NAME

MASS RATE, KG/HR      1993.9962      1985.3726
VOLUME RATE, M3/HR    2.0000      1.9913
TEMPERATURE, C       21.00      21.00
PH                   7.60      7.60

COD, MG/L            215.79      22.16
  : KG/HR            4.32E-01    4.41E-02
BOD (5-DAY), MG/L    135.00      13.86
  : KG/HR            2.70E-01    2.76E-02
SOLUBLE, MG/L        135.00      6.26
  
```

98

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

TM
 ENPRO VERSION 1.1
 OUTPUT
 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

PAGE 10
 186/EM
 PIGAYQA
 NOV 95

STREAM ID NAME	5	6	7
MASS RATE, KG/HR	4.0098	3.5166	0.4931
VOLUME RATE, M3/HR	4.0012E-03	3.5272E-03	4.7468E-04
TEMPERATURE, C	21.00	21.00	21.00
PH	7.60	7.60	7.60
COD, MG/L	29582.64	10.00	249285.17
: KG/HR	1.18E-01	3.53E-05	1.18E-01
BOD (5-DAY), MG/L	18506.90	6.25	155952.81
: KG/HR	7.40E-02	2.21E-05	7.40E-02
SOLUBLE, MG/L	6.29	6.25	6.51
: KG/HR	2.52E-05	2.21E-05	3.09E-06
PARTICULATE ORG., MG/L	0.00	0.00	155946.30
: KG/HR	1.56E-08	0.00	7.40E-02
BIOMASS, MG/L	18500.61	0.00	0.00
: KG/HR	7.40E-02	0.00	0.00
NITROGEN			
TKN, MG/L	0.00	0.00	0.00
NITRATE/NITRITE, MG/L	0.00	0.00	0.00
TSS, MG/L	24648.12	0.00	207765.19
: KG/HR	9.86E-02	0.00	9.86E-02
VSS FRACTION OF TSS	0.7939	0.0000	0.7939
DVSS FRACTION OF VSS	0.9792	0.0000	0.9792
BIOMASS MAKEUP			
ACTIVE BIOMASS, MG/L	19159.71	0.00	0.00

```

*****
***
** SIMULATION SCIENCES INC.
**
*****

```

```

EEEE N N PPPP RRRR OOO TH
E NN NP P R R O O
E NNN P P R R O O
EEEE NNN PPPP RRRR O O O
E NNN P R R O O
E N NP R R O O
EEEE N N P R R OOO

```

VERSION 1.1

```

*****
* HEADQUARTERS ENPRO SUPPORT - DENVER OFFICE *
* ----- *
* FULLERTON, CALIF, USA SIMULATION SCIENCES, INC. *
* 3033 SOUTH PARKER ROAD *
* PHONE (714) 879-9180 4TH FLOOR *
* (800) 854-3198 (USA) AURORA, CO 80014 *
* (800) 231-0860 (CALIF.) *
* (800) 874-6724 (CANADA) PHONE (303) 750-1000 *
* FAX (714) 447-4107 (800) 368-6770 *
* FAX (303) 750-1935 *
*****

```

TM - ENPRO IS A TRADEMARK OF SIMULATION SCIENCES INC.
 SM - SIMSCI IS A SERVICE MARK OF SIMULATION SCIENCES INC.
 (c) COPYRIGHT 1991, UPDATED 1992,
 SIMULATION SCIENCES INC.
 ALL RIGHTS RESERVED

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT
PROBLEM
PLANT/CASE

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT
SOURCE LISTING

PAGE 5-1
386/EM

GENERAL
TITLE USER = PIQAYQA, PROJECT=dupond, PROBLEM=RESULTADOS, DATE=NOV 95
DIMENS METRIC
CALCULATIONS TRIALS = 2000
DESC *****
DESC TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON UN SISTEMA DE DISCOS BIOLOGICOS
DESC ROTATORIOS Y TRATAMIENTO DE LODOS EN UN DIGESTOR
DESC *****

*
STREAM
PROP STRM=1,*
RATE(M3/H)=2,*
TEMP=21,*
PH=7.6,*
BOD=77,*
COD=98,*
TSS = 3.5

UNIT OPS

*
ABASIN UID=AB1,NAME=biodisc
FEED 1
PROD 3
KINET DMODEL = MONOD, DPARAM = 8, .07, .8, 100
OPER pf,HRT=12,DO=2

ANDIGEST UID=AB2,NAME=RECIP
FEED 5
PROD EFFLUENT = 6, SLUDGE = 7
SSTAGE FTSS = 1, FS = .2
OPER TEMP = 21, SF = 1.5, RESIDENCE = .5

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT
PROBLEM
PLANT/CASE

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT
HISTORY

PAGE 6-1
386/EM

SCANNING:

GENERAL DATA
STREAM DATA

CHECKING:

GENERAL DATA
STREAM DATA

SCANNING UNIT DATA:

UNIT 2 - 'AB1' - 'biodisc' '
UNIT 4 - 'AB2' - 'RECIP' '

CHECKING UNIT DATA

GENERATING EXECUTION SEQUENCE

*** PROBLEM SOLUTION BEGINS

```

** WARNING ** UNIT 1, 'AE1', 'digesaeer' - SYSTEM IS NITROGEN DEFICIENT FOR
                COMPLETE BOD DEGRADATION
    UNIT 2 SOLVED - 'AE1' - 'digesaeer'
    UNIT 4 SOLVED - 'AB1' - 'biodisc'
** WARNING ** UNIT 4, 'AB2', 'RECIP' - SPECIFIED SRT/HRT IS LOW - BOD
                DESTRUCTION MAY NOT BE POSSIBLE
    UNIT 4 SOLVED - 'AB2' - 'RECIP'
*** PROBLEM SOLUTION REACHED

```

RUN STATISTICS:

```

STARTED 19:58:26 11:23:95
FINISHED 19:58:32 11:23:95
RUN TIME 0 MIN, 5.82 SEC

```

```

NO ERRORS ENPRO CHARGE UNITS: 17.00
3 WARNINGS

```

SIMULATION SCIENCES INC.

```

PROJECT dupont
PROBLEM RESULTADOS

```

```

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT
INDEX

```

```

PAGE I-1
386/EM
PIQAYGA
nov 95

```

PAGE CONTENTS

```

1 CALCULATION SEQUENCE AND RECYCLES
  AEROBIC DIGESTION
  3 UNIT 2, 'AB1', 'biodisc'
  7 ACTIVATED SLUDGE SUMMARY
  UNIT 4, 'AB2', 'RECIP'
  9 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

```

```

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT dupont
PROBLEM RESULTADOS

```

```

TM
ENPRO VERSION 1.1
INPUT
CALCULATION SEQUENCE AND RECYCLES

```

```

PAGE 1
386/EM
PIQAYGA
nov 95

```

CALCULATION SEQUENCE

```

2. UNIT 2, AB1 4. UNIT 4, AB2

```

```

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT dupond
PROBLEM RESULTADOS

```

```

TM
ENPRO VERSION 1.1
OUTPUT
AERATION BASIN SUMMARY

```

```

PAGE 3
386/EM
PIQAYGA
nov 95

```

```

UNIT 2, 'AB1', 'biodisc'

```

FEED 1

```

PRODUCTS EFFLUENT = 4
                SLUDGE = 5

```

OPERATING CONDITIONS

BASIN TYPE, PLUG FLOW

DEGRADATION PARAMETERS, MONOD KINETICS

K (1/DAY) AT 21.0 C	8.000
KD (1/DAY) AT 21.0 C	0.070
Y (MG MLVSS/MG BOD)	0.800
KS (MG BOD/L)	100.000

NITRIFICATION PARAMETERS, GENERATED INTERNALLY

K (1/DAY)	2.564
KD (1/DAY)	0.052
Y (MG MLVSS/MG NH3)	0.200
KS (MG NH3/L)	0.818

FRACTION OF INERTS PRODUCED

0.20

UNIT SPECIFIC PARAMETERS

BASIN VOLUME, M3	24.0
HRT, HRS	12.0
MIN. PROCESS OXYGEN REQD, KG/HR	0.0
MLSS, MG/L	1.7
MLVSS, MG/L	1.0

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

ENPRO TM VERSION 1.1
 OUTPUT
 AERATION BASIN SUMMARY

PAGE 4
 186/EM
 PIQAYQA
 nov 95

UNIT 2, 'AB1', 'biolisc' (CONT)

	FEED	EFFLUENT	SLUDGE
FLOWRATE, M3/HR	2.00	2.00	4.00E-03
BOD, MG/L	77.0	13.76	18506.9
SOLUBLE, MG/L	75.2	6.26	6.3
PARTICULATE ORG., MG/L	1.8	0.00	0.0
BIOMASS, MG/L	0.0	7.51	18500.6
TSS, MG/L	3.5	10.00	24648.1
VSS FRACTION OF TSS	0.8000	0.7939	0.7939
DVSS FRACTION OF VSS	0.6500	0.9792	0.9792
TKN, MG/L	0.0	-5.67	-5.7
AMMONIA FRACTION	0.000	0.000	0.000
NITRATE/NITRITE, MG/L	0.0	0.00	0.0
BOD, KG/HR	0.2	0.0	0.1
SOLUBLE, KG/HR	0.2	0.0	0.0
PARTICULATE ORG., KG/HR	0.0	0.0	0.0
BIOMASS, KG/HR	0.0	0.0	0.1
TSS, KG/HR	0.0	0.0	0.1
TKN, KG/HR	0.0	0.0	0.0
NITRATE/NITRITE, KG/HR	0.0	0.0	0.0

SIMULATION SCIENCES INC.
PROJECT dupont
PROBLEM RESULTADOS

TM
ENPRO VERSION 1.1
OUTPUT
ANAEROBIC DIGESTION SUMMARY

PAGE 7
386/EM
PIQAYQA
NOV 95

UNIT 4, 'AB2', 'RECIP'

FEED 5

PRODUCTS EFFLUENT = 6
SLUDGE = 7

OPERATING CONDITIONS

KINETIC PARAMETERS, GENERATED INTERNALLY

K (1/DAY)	4.11
KD (1/DAY)	0.01
Y (MG MLVSS/MG BOD)	0.04
KS (MG BOD/L)	9797.94

FRACTION OF INERTS PRODUCED 0.20

UNIT SPECIFIC PARAMETERS

DIGESTER VOLUME, M3	0.05
RESIDENCE TIME, DAYS	0.5
MINIMUM REQUIRED RESIDENCE TIME, DAYS	9.4

PROCESS TEMPERATURE, C	21.0
VSS DESTROYED, PERCENT	0.00
TSS DESTROYED, PERCENT	0.00

AMOUNT OF GAS PRODUCED, M3/HR	0.0
HEAT REQD FOR INFLUENT STREAM, M*KCAL/HR	0.00
HEAT CONTENT OF GAS PRODUCED, M*KCAL/HR	0.00

SECOND STAGE PARAMETERS

WEIGHT PERCENT SOLIDS IN SLUDGE	20.00
SOLIDS CAPTURE AS A FRAC. OF INFL. TSS	1.00

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT DUPONT
 PROBLEM RESULTADOS

ENPROTM VERSION 1.1
 OUTPUT
 ANAEROBIC DIGESTION SUMMARY

PAGE 8
 386/EM
 P10AYQA
 NOV 95

UNIT 4, 'AB2', 'RECIP' (CONT)

	INFLUENT	EFFLUENT	SLUDGE
FLOWRATE, M3/HR	4.00E-03	3.51E-03	4.75E-04
BOD, MG/L	18506.9	6.3	155952.8
SOLUBLE, MG/L	6.3	6.3	6.5
PARTICULATE ORG., MG/L	0.0	0.0	155946.3
BIOMASS, MG/L	18500.6	0.0	0.0
TSS, MG/L	24648.1	0.0	207765.2
VSS FRACTION OF TSS	0.7939	0.0000	0.7939
DVSS FRACTION OF VSS	0.9792	0.0000	0.9792
TKN, MG/L	0.0	0.0	0.0
AMMONIA FRACTION	0.000	0.000	0.000
NITRATE/NITRITE, MG/L	0.0	0.0	0.0
BOD, KG/HR	0.1	0.0	0.1
SOLUBLE, KG/HR	0.0	0.0	0.0
PARTICULATE ORG., KG/HR	0.0	0.0	0.1
BIOMASS, KG/HR	0.1	0.0	0.0
TSS, KG/HR	0.1	0.0	0.1
TKN, KG/HR	0.0	0.0	0.0
NITRATE/NITRITE, KG/HR	0.0	0.0	0.0

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT dupont
 PROBLEM RESULTADOS

TM
 ENPRO VERSION 1.1
 OUTPUT
 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

PAGE 9
 386/EM
 PIQAYQA
 NOV 95

```

-----
STREAM ID          1          4
NAME

MASS RATE, KG/HR      1993.9962
VOLUME RATE, M3/HR      2.0000          1.9959
TEMPERATURE, C         21.00          21.00
PH                     7.60          7.60

COD, MG/L             98.00          22.00
: KG/HR               1.96E-01          4.39E-02
BOD (5-DAY), MG/L     77.00          13.76
: KG/HR               1.54E-01          2.75E-02
SOLUBLE, MG/L         75.24          6.26
: KG/HR               1.50E-01          1.25E-02
PARTICULATE ORG., MG/L  1.76          0.00
: KG/HR               3.51E-03          9.52E-10
BIOMASS, MG/L         0.00          7.51
: KG/HR               0.00          1.50E-02

NITROGEN
TKN, MG/L             0.00          0.00          0.00          0.00
NITRATE/NITRITE, MG/L 0.00          0.00          0.00          0.00
: KG/HR               0.00          0.00          0.00          0.00

TSS, MG/L             3.50          29.89          1.68          10.00
: KG/HR               7.00E-03          5.98E-02          3.36E-03          2.00E-02
VSS FRACTION OF TSS   0.8000          0.7878          0.5833          0.7939
DVSS FRACTION OF VSS 0.6500          0.9584          0.0000          0.9792

BIOMASS MAKEUP
ACTIVE BIOMASS, MG/L   0.00          22.57          0.00          7.77
  
```

SIMULATION SCIENCES INC.
 PROJECT REPORT
 PROBLEM RESULTADOS

TH
 ENPRO VERSION 1.1
 OUTPUT
 NON-COMPOSITIONAL STREAM SUMMARY

PAGE 10
 386/EM
 PIQAYQA
 nov 95

```

=====
STREAM ID                               5           6           7
NAME

MASS RATE, KG/HR                       4.0098       3.5166       0.4931
VOLUME RATE, M3/HR                     4.0012E-03   3.5272E-03   4.7468E-04
TEMPERATURE, C                          21.00        21.00        21.00
PH                                        7.60         7.60         7.60

COD, MG/L                               29582.64     10.00        249285.17
: KG/HR                                 1.18E-01     3.53E-05     1.18E-01
BOD (5-DAY), MG/L                      18506.90     6.25         155952.81
: KG/HR                                 7.40E-02     2.21E-05     7.40E-02
SOLUBLE, MG/L                           6.29         6.25         6.51
: KG/HR                                 2.52E-05     2.21E-05     3.09E-06
PARTICULATE ORG., MG/L                  0.00         0.00         155946.30
: KG/HR                                 1.56E-08     0.00         7.40E-02
BIOMASS, MG/L                           18500.61     0.00         0.00
: KG/HR                                 7.40E-02     0.00         0.00

NITROGEN
TKN, MG/L                               0.00         0.00         0.00
NITRATE/NITRITE, MG/L                  0.00         0.00         0.00

TSS, MG/L                               24648.12     0.00         207765.19
: KG/HR                                 9.86E-02     0.00         9.86E-02
VSS FRACTION OF TSS                     0.7939      0.0000      0.7939
DVSS FRACTION OF VSS                     0.9792      0.0000      0.9792

BIOMASS MAKEUP
ACTIVE BIOMASS, MG/L                   19159.71     0.00         0.00
  
```