

T-UES **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

1501

D 611

1992

63-2

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



“Diseño y Construcción de un Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente para Tratamiento Secundario de Aguas Residuales, Planta Piloto. Parte I”

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

JOSE EFRAIN CORDOVA CERON

JOSE CARLOS RODRIGUEZ CHINCHILLA

MARIO ANTONIO VILLALOBOS VEGA

CARLOS ALFREDO ZALDAÑA TRIGUEROS

15101870

15101870

PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

JULIO DE 1992

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTROAMERICA

Rec. 21 julio/92

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO:

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. VICTOR MANUEL FIGUEROA MORAN





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. Rivera', written over a horizontal line.

ING. RAUL RODRIGUEZ RIVERA
COORDINADOR-ASESOR

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Martinez', written over a horizontal line.

ING. JOSE ATILIO MARTINEZ AVENDANO
ASESOR

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Serrano', written over a horizontal line.

ING. JOAQUIN MARIANO SERRANO CHOTO
ASESOR

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. Rivas', written over a horizontal line.

ING. MIGUEL ANGEL RIVAS MONTERROSA
ASESOR

AGRADECIMIENTOS

Deseamos patentizar por este medio nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que de manera solidaria y desinteresada aunaron esfuerzos por ayudarnos a consolidar nuestra formación académica y profesional. Por el aliento y la pujanza para seguir adelante en el largo recorrido de nuestra carrera. Por la fe y esperanza que nos tuvieron para ver coronar una de nuestras más ansiadas metas, razón por la cual sabremos responder. Agradecemos en especial a:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR:

Nuestra querida Alma Mater y máximo centro de estudios del país por habernos formado como profesionales capaces, al servicio de nuestra patria y de quienes más lo necesitan.

ING. RAUL RODRIGUEZ RIVERA:

Nuestro Coordinador y Asesor del Trabajo de Graduación, por su valiosa colaboración y oportuna orientación que constantemente nos brindó.

ING. JOSE ATILIO MARTINEZ AVENDANO,

ING. MIGUEL ANGEL RIVAS MONTERROSA, e

ING. JOAQUIN MARIANO SERRANO CHOTO:

Nuestros Asesores del Trabajo de Graduación, por la ayuda brindada, sin la cual hubiera sido más difícil el desarrollo del presente trabajo.

A TODOS LOS MAESTROS QUE EN SU OPORTUNIDAD NOS ORIENTARON CON SU SABIDURIA Y ENSEÑANZAS TEORICO-PRACTICAS EN EL TRANCURSO DE NUESTRA FORMACION ACADEMICA.

A TODOS USTEDES: MUCHAS GRACIAS!!!

DEDICATORIA

QUIERO AGRADECER AL SER TODOPODEROSO POR PERMITIRME CORONAR
ESTA CARRERA.

DEDICO ESTE TRIUNFO A:

- MIS PADRES POR SUS CONSEJOS Y APOYO EN TODO.
- MIS HERMANOS POR SU AYUDA Y ALIENTO QUE ME BRINDARON.

DESEO PATENTAR MIS AGRADECIMIENTOS POR ESTE MEDIO A TODA
PERSONA QUE COLABORO CONMIGO EN FORMA DESINTERESADA DURANTE
EL TRANSCURSO DE MI FORMACION PROFESIONAL.

EFRAIN

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS TODOPODEROSO: Por guiarme e iluminar mi camino siempre y sobre todo por fortalecer cada día más mi fe en EL y por mantener mi firme convicción para lograr esta meta.
- A MIS PADRES: CARLOS RODRIGUEZ Y JULIA CHINCHILLA DE RODRIGUEZ (Q.D.D.G.), por su amor, cariño y sabios consejos, su confianza, sacrificios y apoyo que me brindaron siempre, razón por la cual les estaré eternamente agradecido.
- A MI ESPOSA: ANA AIMEE SORIANO DE RODRIGUEZ, por su amor, cariño y comprensión, bastiones importantes sin los cuales hubiera sido imposible lograr tan anhelado triunfo.
- A MI HIJO: JOSE CARLOS, por ser la causa principal que me ha motivado a seguir siempre adelante, con todo el amor y el cariño de mi alma, gracias por llenar cada instante de mi vida de dicha y felicidad.
- A MI HERMANA Y CUNADO: ANA GLORIA Y JORGE ALBERTO, por su inmenso apoyo, confianza, por creer en mí y ayudarme en todo momento.
- A MIS HERMANOS: JUANA VICTORIA, MARIA MAGDALENA, RENE GONZALO Y RAFAEL MAURICIO, por su incondicional apoyo, cariño y buenos consejos.
- A MI ABUELA, MIS TIAS Y SOBRINOS.
- A MIS JEFES DE TRABAJO: De una manera muy especial deseo manifestar mis agradecimientos al ING. JOSE MAURICIO STUBIG y al ING. ROBERTO ARANGO QUEZADA, en primer lugar por darme la oportunidad de continuar y culminar mis estudios universitarios y en segundo lugar por permitirme conjugar la teoría con la práctica, pero sobre todo por haberme dejado ser parte integral de la gran familia PROASA.
- A MIS MAESTROS, COMPANEROS DE ESTUDIO Y DE TRABAJO, AMIGOS Y DEMAS FAMILIARES QUE DIRECTA O INDIRECTAMENTE ME DIERON SU APOYO.
- A todos ellos, GRACIAS.

JOSE CARLOS

DEDICATORIA

- A DIOS: Por darme la inteligencia e iluminarme el sendero de la vida para seguir adelante.
- A MI MADRE: Lic. ESPERANZA DEL CARMEN VEGA SALMERON, por haberme concebido y guiado en el camino correcto de la vida, por enseñarme a distinguir entre el bien y el mal y por sus sabios consejos de mujer indoblegable.
- A MI PADRE: Agr. MARIO ANTONIO VILLALOBOS CAMPOS, por darme la vida, el apoyo moral y espiritual, por el cariño y la comprensión así como la transmisión de su experiencia y sabiduría en la toma de decisiones.
- A MIS HERMANOS: TITO Y CLAUDIA, con quienes hemos crecido y compartido juntos momentos de tristeza y alegría, durante toda una vida. A mis demás hermanos, MARIA TERESA, WILFREDO Y CECILIA, ALMA ESTELA, LUIS JOSUE Y AIDA, con quienes hemos compartido gratos momentos.
- A MIS TIOS: en especial mi tío Tito, que siempre ha estado pendiente y atento de la familia, a mi tío Raúl, Lupita y Elias, que siempre nos han colmado de bendiciones, Orestes y Arminda, Arnoldo (Q.D.D.G) y tía Victoria, Luis Alonso (Q.D.D.G.), David y Ana María.
- A MIS ABUELOS (Q.D.D.G.): con quienes desde pequeño aprendí por las buenas y las malas el respeto y la obediencia.
- A MIS PRIMOS, SOBRINOS, Y DEMAS FAMILIARES.
- A MI NOVIA: ese ser tan especial que siempre me ha dado cariño, amor y comprensión, inclusive en los momentos mas difíciles.
- A MIS COMPANEROS: Chinchilla, Zaldaña y Efraín, por haberme dado la oportunidad de elaborar conjuntamente el Trabajo de Graduación. A Pedro Cazán, Marco Antonio, Alejandro, Fredy, Luis, Osegueda, Iván, Arriola, José, España, Saúl, Milo, Mónico, etc., con quienes pasamos horas de desvelo, aflicción y superación.
- A MIS PROFESORES: por su apoyo moral y enseñanza brindadas.
- A MIS AMIGOS : Jorge, Juan, Ronald, El Choco, El Mocho, El Pixi, El Paja, Coqui, El Coquinho, Lorenzo, Carlos y El Gordo, etc., quienes siempre se preocuparon por mi bienestar y dedicación a mis estudios y con quienes hemos departido momentos inolvidables. También con dedicatoria a mis tres escuelas de la vida: LA FAMILIA, LA ESCUELA Y LA CALLE.

MARIO ANTONIO

DEDICATORIA

A MI MADRE: ESTELA SALDANA, con todo el amor del mundo, por mostrarme el buen camino por donde siempre debí seguir y enseñarme a compartir las cosas por pequeñas que estas sean.

A MI HERMANO: JULIO IVAN, con mucho respeto y cariño.

A MIS TIAS: ROSA GLADYS Y BLANCA ROSA, por esos oportunos consejos y el amor que siempre me han brindado, muchas gracias por todo.

A MIS TIOS: MERCEDES, ARTURO, ALFONSO, ARMANDO Y NURY, con respeto.

A MIS ABUELOS: GUADALUPE HERNANDEZ (Q.E.P.D.) Y CATALINA TRIGUEROS.

A MI ABUELA: ERCILIA ZALDANA (Q.E.P.D.).

A MIS PRIMOS: José, Silvia Ana, Anibal E., Fernando A., Mily de los Angeles, Edgardo A., Lisseth B., Gladys, Wilfredo y Gustavo.

A MIS SOBRINOS: Ivancito, Julito, Estelita, Carlitos, Francisco (Pachi), Mónica, Vanessa (Tusa), Blanca Gisela (Blanqui), Hayleen, Marielos, Vanesita, José A. y Ana E., que sus metas y triunfos sean mucho mayores.

A LAS FAMILIAS: Balcáceres B. (en especial a Danielito), Pineda C., Ayala F., Velásquez V., Sánchez C., Rodríguez P., Padilla A., Zaldaña S., Salinas, Gutierrez y Zaldaña.

A MIS PROFESORES: agradecimientos por los conocimientos que cada uno me brindó.

A TODOS LOS COMPANEROS ESTUDIANTES.

CON ESPECIAL DEDICACION AL DOCTOR MIGUEL SALDANA AREVALO Y FAMILIA.

A TODOS AQUELLOS QUE DIERON LA MAS ALTA CUOTA DE SACRIFICIO
A LOS BUENOS HIJOS DE NUESTRA PATRIA RENACIENTE
A LOS QUE LABRARON EL CAMINO DE LA PAZ
A TODOS USTEDES
QUE CON SU LUCHA FUERON INSPIRACION
PARA LOGRAR ESTA META
PARA PODER UN DIA COMPARTIRLA CON TODO NUESTRO PUEBLO
H.V.S. R.M.V.

CARLOS

INDICE

	PAG. #
CAPITULO I.....	1
1.0 GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	7
1.3 ENFOQUE TEORICO.....	12
1.3.1 AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.....	12
1.3.1.1 CARACTERISTICAS Y ANALISIS DEL AGUA.....	12
1.3.1.1.1 CARACTERISTICAS FISICAS.....	12
1.3.1.1.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS.....	19
1.3.1.1.3 CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS.....	25
1.3.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	27
1.3.2.1 SISTEMA MECANIZADO.....	27
1.3.2.2 SISTEMA NO MECANIZADO.....	31
1.3.3 PROCESOS UNITARIOS BIOLÓGICOS.....	32
1.3.3.1 CICLOS AEROBIO Y ANAEROBIO.....	32
1.3.3.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	37
1.3.3.2.1 TRATAMIENTO AEROBIO DE AGUAS RESIDUALES.....	38
1.3.3.2.2 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES.....	40
CAPITULO II.....	49
2.0 PLANTA PILOTO.....	49
2.1 COMPONENTES DE TRATAMIENTO.....	49

2.1.1	TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	49
2.1.2	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	53
2.1.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	63
2.1.4	TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO.....	71
CAPITULO III.....		75
3.0	RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS DE CAMPO.....	75
3.1	METODOLOGIA.....	75
3.1.1	LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA.....	75
3.1.2	TOPOGRAFIA DEL TERRENO.....	77
3.1.3	DETERMINACION DE CAUDALES.....	78
CAPITULO IV.....		80
4.0	DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO.....	80
4.1	COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	80
4.1.1	SISTEMA PRELIMINAR.....	80
4.1.1.1	TRAMPA DE SOLIDOS O CAMARA DE REJAS.....	80
4.1.1.2	CAJA DISTRIBUIDORA Y MEDIDORA DE CAUDALES.....	81
4.1.2	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	81
4.1.2.1	SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	81
4.1.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	82
4.1.3.1	REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (CON MANTO DE LODOS).....	82

4.1.4	TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO:.....	83
4.1.4.1	FILTRO PERCOLADOR.....	83
4.1.4.2	LECHOS DE SECADO.....	83
4.2	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	84
4.2.1	CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	84
4.2.2	DISEÑO DEL SISTEMA PRELIMINAR.....	86
4.2.2.1	TRAMPA DE SÓLIDOS (REJAS Y CRIBAS).....	86
4.2.2.2	CAJA DISTRIBUIDORA Y MEDIDORA DE CAUDAL ...	88
4.2.3	DISEÑO DEL SISTEMA PRIMARIO.....	89
4.2.3.1	SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	89
4.2.4	DISEÑO DEL SISTEMA SECUNDARIO.....	91
4.2.4.1	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.).....	91
4.2.5	DISEÑO DEL SISTEMA COMPLEMENTARIO..	91
4.2.5.1	FILTRO PERCOLADOR DE BAJA CARGA.....	91
4.2.5.2	LECHOS DE SECADO.....	94
CAPÍTULO V.....		95
5.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1	CONCLUSIONES.....	95
5.2	RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....		101
ANEXOS.....		103

CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I

1.0 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

El problema de la contaminación de las aguas superficiales; ríos, lagos, lagunas, etc. y de los mantos acuíferos o aguas subterráneas, se ha agudizado a nivel mundial de tal manera que ya muchos gobiernos están legislando y creando medidas correctivas y programas de prevención contra esta problemática, pues ya se comienzan a visualizar sobre el horizonte los límites de nuestros recursos hídricos y a sentir los efectos negativos de la contaminación de los cuerpos de agua que afectan principalmente la salud y economía de una gran parte de la población, deteriorando a gran escala la flora y fauna existentes.

El crecimiento explosivo de la población, más el acelerado desarrollo industrial, someten a grandes concentraciones orgánicas nuestros cuerpos de agua, creando altos grados de polución y contaminación, lo cual a la vez las inutiliza para el uso doméstico, industrial, agropecuario, etc. En detrimento de la salud pública y en consecuencia de la economía nacional. Muchas epidemias tienen como foco de infección las aguas contaminadas, para lo cual se hace necesario emplear medidas preventivas, ejecutando obras sanitarias además del alcantarillado y de un adecuado tratamiento de las aguas residuales para combatir las

sustancias capaces de entrar en putrefacción, lo cual favorece el desarrollo de las bacterias causantes de enfermedades.

En el país las principales causas que incrementan los índices de Morbilidad y Mortalidad son provocadas por enfermedades de origen hídrico (ver anexo # 1), entre las cuales tenemos:

- a.- Bacterianas (diarreas, fiebre tifoidea y paratifoidea, etc.)
- b.- Parasitarias (helmintiasis, cestodes, etc.)
- c.- Virales (hepatitis, etc.)

Las repercusiones de estas enfermedades se reflejan en el campo económico, ya que se disminuye la fuerza laboral por incapacidades médicas y aumentan las inversiones en medicinas y servicios medico-hospitalarios.

El problema de la no existencia o deficiencia de un sistema de alcantarillado sanitario, es que muchas veces el destino final de las aguas residuales es el de descargarlas en zanjas o pozos de drenaje, esparcirlas sobre el terreno, en el lecho de una corriente seca donde pueda infiltrarse o alcanzar un río, o vertirlas directamente sobre los cursos de agua, razón por la cual se hace necesario recurrir previamente a un sistema de tratamiento antes de su eliminación definitiva; el objeto de todo tratamiento es

transformar dichas aguas en un residuo líquido que pueda evacuarse sin menoscabo de las condiciones mínimas de salubridad de los abastecimientos públicos, considerando las condiciones particulares de cada caso. En los ríos, el problema de la contaminación es mayor ya que además de vertir crudas las aguas negras de la población, en sus márgenes se botan basuras y toda clase de desperdicios, se lanzan residuos industriales sin ningún tratamiento previo y así tenemos que industrias tales como: productos lácteos, farmacéuticos, alcohólicos, plantas empacadoras de alimentos, industrias metalúrgicas, de aceites y jabones etc., vierten sus desechos a estos cuerpos de agua, y como si esto fuera poco, se descargan aguas provenientes de hospitales, rastros, etc.

En las zonas rurales los pesticidas, herbicidas y productos químicos utilizados en la agricultura son la principal causa de contaminación, debido al alto grado de toxicidad de estos compuestos que rápidamente terminan con la vida animal y vegetal de nuestros ríos, como consecuencia de la escorrentía e infiltración de los cursos de agua conteniendo estos residuos químicos. Así también los beneficios de café, ingenios de azúcar, descargan sus aguas residuales en pequeños ríos o quebradas, con el agravante de que estos comienzan a trabajar en los meses de noviembre y diciembre que es la fecha de finalización de la estación lluviosa y los ríos comienzan a disminuir sus valores de caudal y se

convierten en verdaderos canales abiertos de conducción. Los volúmenes de aguas negras son tales que el proceso de autodepuración no alcanza a completarse, lo que hace que el desarrollo de nuestros ríos sea insuficiente para diluir los líquidos y sólidos residuales, originando focos de contaminación atentando contra la fauna y flora, creando un ambiente altamente nocivo. Todos estos residuos industriales y de beneficios son altamente perjudiciales al cuerpo de agua receptor, debido a su elevada demanda bioquímica de oxígeno, que terminan con el poco oxígeno disuelto que podrían haber dejado las aguas residuales vertidas.

También cabe mencionar como origen de contaminación el asentamiento de comunidades marginales a lo largo de ríos y quebradas, quienes por no contar con servicios básicos como sistemas de acueductos y alcantarillados o de basura (servicio de tren de aseo), descargan sus residuos, excretas y aguas lluvias por canales de tierra, las basuras y desperdicios son amontonados en los márgenes de dichos ríos, además de la construcción de letrinas de fosa sin ninguna restricción sanitaria, las cuales contaminan los mantos acuíferos que son la principal fuente de abastecimiento para la obtención de agua potable; también utilizan las aguas contaminadas de dichos ríos para los quehaceres domésticos, riego de hortalizas, etc, lo cual los convierte en seguros focos de contaminación.

El desarrollo socio-económico de una ciudad esta ligado a la condición higiénica y sanitaria de sus habitantes, los factores que contribuyen a dicha condición son:

- a.- Suministro de agua potable de calidad y en la cantidad requerida para todas las necesidades de los habitantes.
- b.- Alejamiento (red de alcantarillado), y tratamiento de las aguas residuales.
- c.- Eliminación de basuras.
- d.- Rápido y fácil desagüe de las aguas lluvias.
- e.- Protección y control de las aguas superficiales y subterráneas, etc.

Otro problema que dentro de muy poco deberemos enfrentar debido al crecimiento poblacional, es la demanda de la principal fuente de abastecimiento (aguas subterráneas), ya que ésta será insuficiente para cubrir dicha demanda, por lo que se deberá recurrir al uso de las aguas superficiales ya contaminadas, incrementando todo lo anterior los costos del proceso de potabilización y que traerá como consecuencia una aguda crisis social, debido al perjuicio que esto ocasionará en la salud y economía de los habitantes.

Por todas las razones descritas anteriormente, es que se hace necesario y obligatorio hacer conciencia en la población acerca del uso racional del agua, así como de la creación de un plan nacional integral, con respaldo legal, administrativo, técnico y financiero para la creación de

programas de saneamiento de los cuerpos de agua, básicamente los referidos a la construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. En virtud de lo expuesto, presentamos a continuación el estudio detallado del "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FILTRO ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE PARA TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES, PLANTA PILOTO. PARTE I"

El estudio representa la propuesta concreta de un modelo de sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo no mecanizado, el cual podría construirse e implementarse en industrias, urbanizaciones, escuelas, universidades, etc., con el objeto de disminuir gradualmente la contaminación de los ríos, mejorando de esta forma los niveles de vida de nuestra población y ayudando a la preservación de los recursos naturales y a la conservación del medio ambiente, lo cual constituye un valioso aporte a la comunidad como un reconocimiento a la lucha que se ha hecho en el campo de la ingeniería sanitaria por rescatar nuestra ecología.

1.2 ANTECEDENTES

La preocupación de la humanidad por la disposición final de las aguas residuales, se remonta a tiempos históricos, hay indicios de que los antiguos egipcios, babilonios, asirios y fenicios utilizaban sistemas tipo alcantarillas para conducir las aguas de desecho hacia los cuerpos receptores.

La primera red de que se tiene conocimiento es la de Roma 600 años A.C., integrada por varios ramales que se intersectaban en una ancha conducción y descargaban en las aguas del Tiber.

En Europa en el siglo XVI aparecen disposiciones sanitarias debido al cólera que devastó países centro-europeos (especialmente Alemania) y es entonces cuando la humanidad comienza a darse cuenta de la relación que hay entre las epidemias y la contaminación de los cursos de agua.

En 1875 el "PUBLIC HEALTH ACT." previa para Inglaterra que toda autoridad sanitaria debía obligar a "desembarazar" las aguas residuales de materias excrementicias e impuras, susceptibles de alterar la pureza del agua; así también el "RIVERS POLLUTION ACT." en 1893 catalogan como delito el verter hacia un río:

- a.- Materias sólidas capaces de obstaculizar el gasto y/o contaminarles.
- b.- Aguas de alcantarillas.
- c.- Líquidos "Impuros" provenientes de fábricas o minas.

En el presente siglo, los países industrializados de Europa como Alemania e Inglaterra, previendo el auge de la revolución industrial, la expansión de nuevas industrias y el crecimiento urbano de las ciudades, crean una legislación sobre higiene pública, individual y colectiva, exigiendo la protección de los cauces públicos y la depuración de las aguas con potencial contaminante vertidas en ellos.

En Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial, en algunos estados como Texas, California y Arizona, se experimentó con el método de Lagunas de Oxidación para el tratamiento de las aguas residuales, con resultados sorprendentes lo cual extendió a muchas municipalidades de diferentes estados la implementación de este método, convirtiéndose este país en el pionero del sistema de tratamiento con Lagunas de Oxidación.

En algunos países de Latinoamérica que tomaron el ejemplo de los Estados Unidos se obtuvieron grandes resultados (Mexico, Brasil, Venezuela, Costa Rica, etc.) con el sistema de Lagunas de Oxidación o estabilización, pues se construían y

operaban a costos mucho mas bajos que los obtenidos en plantas convencionales de tratamiento con sistemas mecanizados.

En nuestro país no fuè sino hasta 1940 que se tiene conocimiento sobre el tratamiento de aguas residuales, cuando en Nueva San Salvador (Santa Tecla), la organización Interamerican Service of Public Health (Servicio Interamericano de Salud Pública), programò y financiò el proyecto de alcantarillado sanitario y construcción de una planta de tratamiento de dicha ciudad.

En 1950 se crea la Dirección General de Obras Hidráulicas como dependencia del Ministerio de Obras Públicas, la cual tendria como función principal la formulación y ejecución de proyectos de acueducto y alcantarillado sanitario, como respuesta a las necesidades de desarrollo urbano e industrial de las ciudades.

Para el año de 1961 aparece la ley de creación de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) como entidad rectora a nivel nacional de los proyectos de introducción de acueducto y alcantarillado; ya en el artículo número 2 se menciona el procedimiento para la depuración de las aguas residuales, en base a la construcción de sistemas de alcantarillado sanitario y de tratamiento previo (segun el caso) de dichas aguas.

En el transcurso de la década de los años sesenta se realizáron numerosos estudios sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales, pero, debido a la falta de organización de los recursos económicos para ejecutar estos proyectos de tratamiento, así como la indiferencia de las autoridades sanitarias para hacer cumplir las disposiciones legales y la negligencia e ignorancia de nuestro pueblo, trajo como consecuencia el aumento del grado de contaminación de las aguas; así también contribuyó la poca difusión del problema y la falta de garantías técnicas para la construcción de estas obras.

No fué sino hasta en Octubre de 1987 cuando aparece publicado en el Diario Oficial el decreto número 50 (ver anexo # 2), que trata específicamente sobre la autorización de vertidos por autoridad competente, normas sobre la depuración y tratamiento de las aguas residuales, sanciones y procedimientos, las características Químicas, Físicas y Biológicas de estas aguas, así como los límites permisibles de sustancias tóxicas y venenosas.

Actualmente se encuentran operando en el país diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son del tipo mecanizado y no mecanizado. En el anexo # 3 se presenta un resumen de estas plantas y sus principales características.

Para el año de 1992, A.N.D.A. pondrá en marcha un plan piloto de saneamiento y rescate de los principales cuerpos receptores de aguas residuales de San Salvador y Santa Tecla como son los ríos ACELHUATE, TOMAYATE Y LAS CANAS. El proyecto consistirá en la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario y la construcción de cuatro colectores primarios, de alivio e interceptores, en una extensión de 25 kilómetros, los cuales descargarán directamente las aguas residuales de estas zonas hasta dos plantas de tratamiento (sistemas de lodos activados), que se construirán en Apopa e Ilopango.

Con este proyecto se pretende beneficiar aproximadamente a un millón de habitantes y disminuir los problemas de salud debido a la contaminación de estos ríos, así como también se mejorará la capacidad para realizar nuevos proyectos de desarrollo urbano sin menoscabo de las condiciones sanitarias.

1.3 ENFOQUE TEORICO

1.3.1 AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

1.3.1.1 CARACTERISTICAS Y ANALISIS DEL AGUA

1.3.1.1.1 CARACTERISTICAS FISICAS

La característica física más importante del agua residual es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características físicas importantes son la temperatura y el olor.

SOLIDOS TOTALES

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de los pozos locales y aguas subterráneas. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura. En la Tabla 1.1 se indican los valores típicos de materiales sólidos provenientes de las fuentes mencionadas anteriormente.

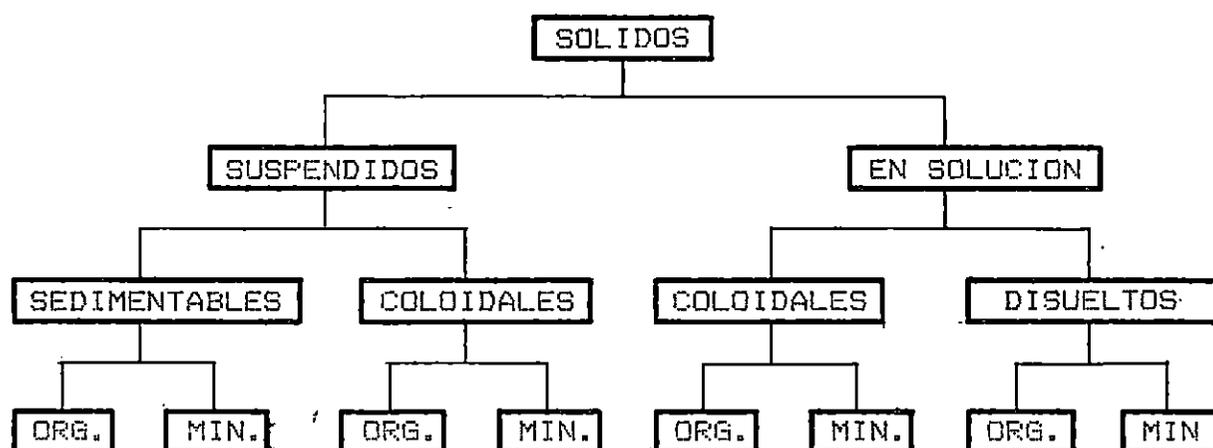
Tabla 1 Estimación de los componentes de sólidos totales en agua residual.

COMPONENTE	PESO SECO GR/HAB/DIA
Agua de suministro y agua subterránea.	12.7
Heces (Sólidos, 23%).	20.5
Orina (Sólidos, 3.7%)	43.3
Inodoros (Incluyendo Papel).	20.0
Pilas, baños, lavaderos y otras fuentes de aguas domésticas de lavado.	86.5

FUENTE: Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales,
Metcalf and Eddy

Analíticamente, el contenido total de sólidos de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105 $^{\circ}\text{C}$ ^{1/*}. La materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido. La siguiente gráfica muestra la clasificación de los sólidos totales.

1/* Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales,
Metcalf and Eddy.



FUENTE: Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales,
Metcalf and Eddy

SOLIDOS SUSPENDIDOS

Estos se definen como los sólidos que quedan retenidos por la capa infiltrante de un papel filtro # 40 ^{2/*}; incluye las partículas flotantes mayores que consisten en arenas, polvos, arcillas, materias fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y de basura y otros materiales similares. La mayoría son perceptibles a simple vista, y pueden ser separados del agua por medios físicos o mecánicos, como sedimentación y filtración.

2/* Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales,
Metcalf and Eddy.

Estos se dividen en:

a.- **Sedimentables:** Son la porción cuyo tamaño y peso permiten que se sedimenten en un periodo determinado, generalmente éste periodo es de una hora.

b.- **Coloidales:** Son la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Necesitan largos periodos de tiempo para lograr su sedimentación.- Se estima que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente una micra (μm).

SOLIDOS EN SOLUCION

Son aquellos que pasan a través de la capa filtrante de un papel filtro # 40. Estos se dividen en dos grupos, los que se encuentran disueltos y los que se encuentran en estado coloidal. Por lo general se necesita de una coagulación u oxidación biológica seguida de una sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

Estos se dividen en:

a.- Coloidales: La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10^{-9} y $1 \mu\text{m}$ y no pueden eliminarse por sedimentación.

b.- Disueltos: Estos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas que se encuentran en verdadera disolución en el agua.

MATERIAS VOLATILES

Los sólidos de las aguas residuales pueden clasificarse en base a su volatilidad a 600°C . La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza.

El análisis de los sólidos volátiles se aplica mas frecuentemente a los lodos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

TEMPERATURA

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática. El oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en el agua fría, generalmente la temperatura del agua residual es más alta que la del

suministro, y que la temperatura del agua, esto se debe al encierro sufrido durante su evacuación, y al proceso de degradación que se va desarrollando.

Debe de tenerse en cuenta que un cambio repentino de temperatura puede repercutir en un alto porcentaje de mortalidad de la vida acuática y en un crecimiento acelerado de algas y hongos.

COLOR

El color del agua generalmente se deriva de hojas, turbas y otra materia orgánica.

Al agua se le considera un color aparente que se debe a partículas muy finas que se encuentran en suspensión y un color verdadero que se debe a las partículas que se encuentran en solución.

El color del agua residual se considera que cambia de un color grisáceo a un color negruzco, a medida que la materia orgánica es descompuesta por las bacterias anaeróbicas.

OLOR

Los olores de las aguas negras, son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica.

El agua residual fresca, tiene un olor peculiar desagradable, parecido al moho, pero más tolerante que el agua residual séptica.

El control del olor del agua residual, suele conseguirse mediante procesos de preaireación y precolación, y también existen fuertes agentes oxidantes como el ozono para tratar las sustancias causantes de olor en los efluentes de los tratamientos preliminares.

El control del olor en las áreas de secados de lodos es raramente necesario, si éste está bien digerido.

1.3.1.1.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

Dentro de las características químicas más importantes de las aguas negras, podemos considerar tres grandes grupos, las cuales son:

- a) materia orgánica,
- b) materia inorgánica, y
- c) gases

a) MATERIA ORGANICA

Es aquella procedente de animales, vegetales y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

En el transcurso de los años se han ido desarrollando una serie de ensayos para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales. Los métodos de laboratorio más utilizados son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT), y la Demanda Total de Oxígeno (DTO).

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

Es aquella que mide la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar la materia orgánica sujeta a descomposición de las aguas negras. La DBO más aplicable y más utilizada es a los cinco días (DBO_5), ya que la oxidación bioquímica es un proceso lento y teóricamente tardan un período infinito en completarse. Al cabo de veinte días, la oxidación se completa de un 95 a un 99 % y en un plazo de cinco días, la oxidación se ha efectuado en un 60-70 % ^{3/*}.

Los datos de la DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y para medir el rendimiento de algunos de estos procesos.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

Se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las aguas residuales. La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente.

3/* Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales,

En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO; y ello puede resultar muy útil por que la DQO puede determinarse en tres horas, el cuál resulta un tiempo corto comparado con los cinco días de la DBO, una vez que la correlación ha sido establecida pueden utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamiento.

CARBONO ORGANICO TOTAL (COT)

Consiste en la oxidación completa de una muestra mediante la determinación de la cantidad de Bióxido de Carbono producido. Y es la cantidad de Carbono de las materias orgánicas contenidas en la muestra. Este método es aplicable a pequeñas concentraciones de materia orgánica

DEMANDA TOTAL DE OXIGENO (DTO)

Es un método instrumental que puede utilizarse para medir el contenido orgánico de las aguas residuales. En éste ensayo las sustancias orgánicas y, en menor escala, las inorgánicas se transforman en productos finales estables. Este ensayo puede efectuarse rápidamente y los resultados pueden ser correlacionados con la DQO.

b) MATERIA INORGANICA

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las concentraciones de los constituyentes inorgánicos aumentan igualmente debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja la sustancia inorgánica en el agua. Puesto que las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de aquellos, especialmente los añadidos al agua superficial por el ciclo de su utilización.

pH

La concentración del Ión Hidrógeno, es un parámetro de calidad importante de las aguas residuales, ya que el intervalo de concentración idóneo para la vida biológica es muy estrecho y crítico.

El agua residual con una concentración adversa del Ión Hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se corrige antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

En todo tratamiento de agua es importante considerar las sustancias que causan alcalinidad o acidez y la intensidad de estas.

c) GASES

Todas las aguas negras contienen pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos, entre los más importantes se encuentran:

OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto, es necesario para la respiración de los microorganismos aeróbicos, así como también otras formas de vida aerobias.

SULFURO DE HIDROGENO

Se trata de un gas incoloro, inflamable, que tiene un olor característico a huevo podrido, este gas no se forma ante la presencia de abundante oxígeno, se forma mediante la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos. El ennegrecimiento del agua residual y del lodo se debe generalmente a la formación de Sulfuro de Hidrógeno que se combina con el Hierro presente para formar Sulfuro Ferroso.

METANO

El metano es un hidrocarburo combustible inodoro e incoloro. Es el principal sub-producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Normalmente no se encuentran grandes cantidades en el agua residual, por que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de su producción, por lo que su producción se limita por la descomposición anaeróbica en depósitos acumulados en el fondo.

1.3.1.1.3 CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS

Los aspectos biológicos más importantes incluyen el conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas residuales, así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico.

El grupo principal de organismos que se encuentran en las aguas residuales se denominan protistas.

PROTISTAS

Entre los protistas más importantes se encuentran las bacterias, algas y protozoos.

BACTERIAS

Las bacterias juegan un papel importante dentro de una planta de tratamiento, ya que intervienen en la descomposición y estabilización de la materia orgánica.

ALGAS

La presencia de algas es un factor que se debe considerar en un sistema de tratamiento, ya que influye en el diseño de la planta y en el proceso de tratamiento. En el diseño de la planta, es necesario considerar que la luz del sol provoca un proceso de reproducción, el oxígeno que liberan las algas através del proceso de la fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aeróbica.

PROTOZOOS

Estos protistas se alimentan de bacterias y otros protistas microscópicos, y mantienen un equilibrio natural entre los distintos grupos de microorganismos por lo cual son básicos en el proceso de eliminación de impurezas.

VIRUS

Los virus excretados por los humanos pueden llegar a ser un peligro importante para la salud pública. Por ejemplo, Metcalf and Eddy, hace referencia que "de 10,000 a 100,000 dosis infecciosas del virus de la hepatitis son emitidos por cada gramo de heces de un paciente con dicha enfermedad" y que "se sabe con certeza que algunos virus viven 41 días en el agua o agua residual a 20 °C y durante 6 días en un río normal.

1.3.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO

1.3.2.1 SISTEMA MECANIZADO

Se dice que un sistema de tratamiento es mecanizado, cuando por medio de la mecanización se logra reemplazar las operaciones manuales y con frecuencia, se sustituyen funciones que no se pueden desempeñar a mano.

Así también la instrumentación ayuda a guiar y a registrar los flujos y el comportamiento de toda la planta.

Los instrumentos mecanizados registran las condiciones observadas en forma continua o a intervalos específicos de tiempo.

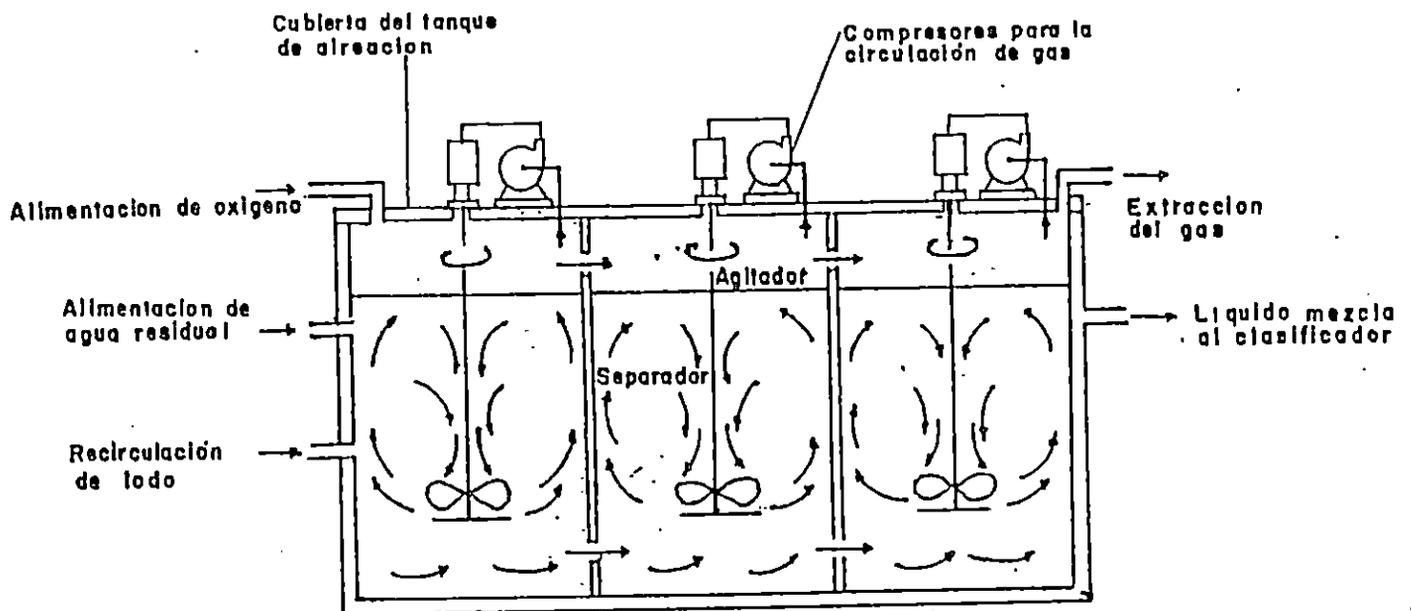
La automatización combina la instrumentación y la mecanización para efectuar controles específicos.

Por lo general, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se registran los flujos entrantes y los salientes, los niveles de agua, las operaciones de las bombas, sopladores de aire, los flujos y pesos de los lodos, etc.

Entre algunos de los elementos de tipo mecanizado podemos mencionar:

TANQUES DE AIREACION

En estos la aereación se da por medio de aspiración producida por dispositivos mecánicos accionados por un motor que opera dentro de la unidad misma de tratamiento, con la finalidad de la eliminación de los aceites y grasas.



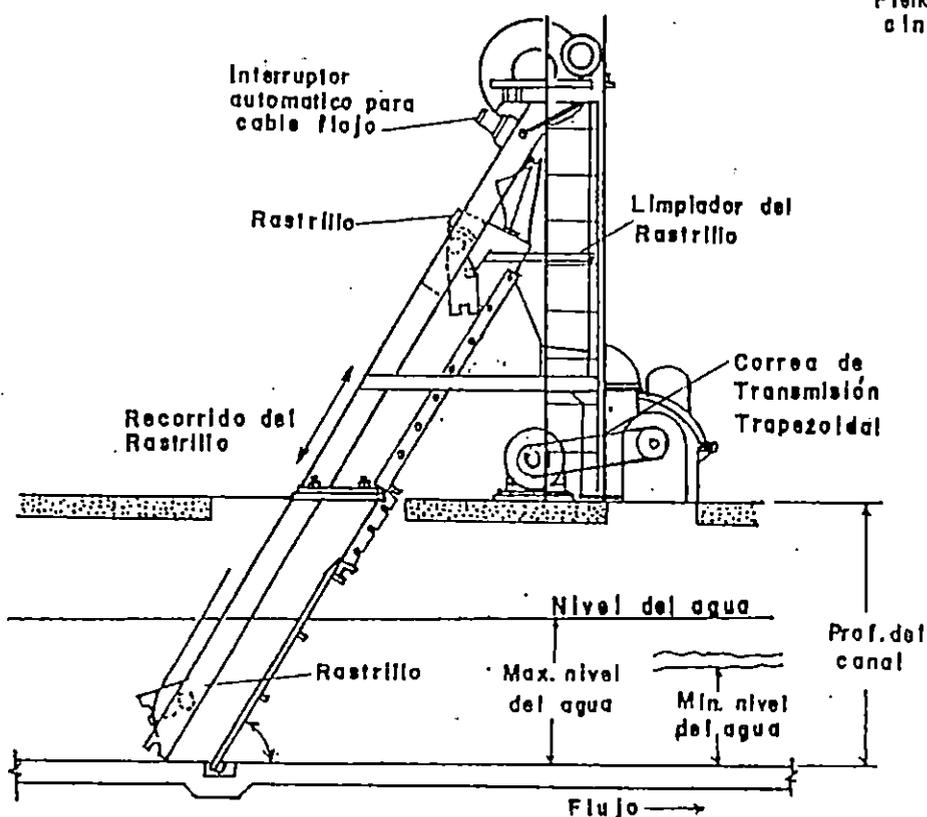
ESQUEMA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS, CON OXIGENO PURO.

FIGURA DE TANQUES DE AIREACION

CAMARAS DE REJAS

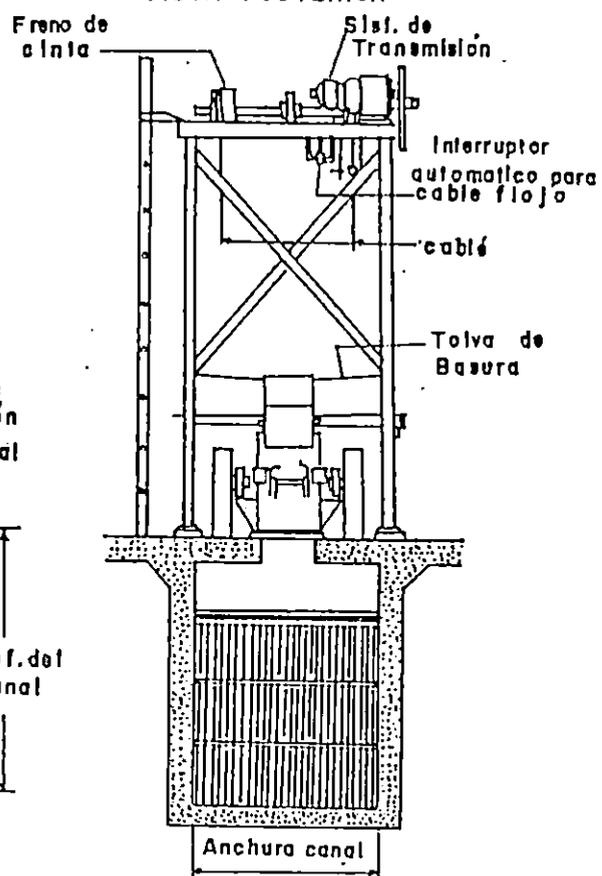
Las hay de limpieza mecánica, operada electricamente y controlada por un aparato de tiempo, para que la limpieza sea automática.

VISTA LATERAL



VISTA LATERAL

VISTA POSTERIOR



VISTA POSTERIOR

FIGURA DE CAMARA DE REJAS

TRITURADORES DE SOLIDOS

Es una zaranda limpiada mecánicamente. Los materiales retenidos en las zarandas son cortados por medios mecánicos, sin ser removidos del flujo de aguas negras.

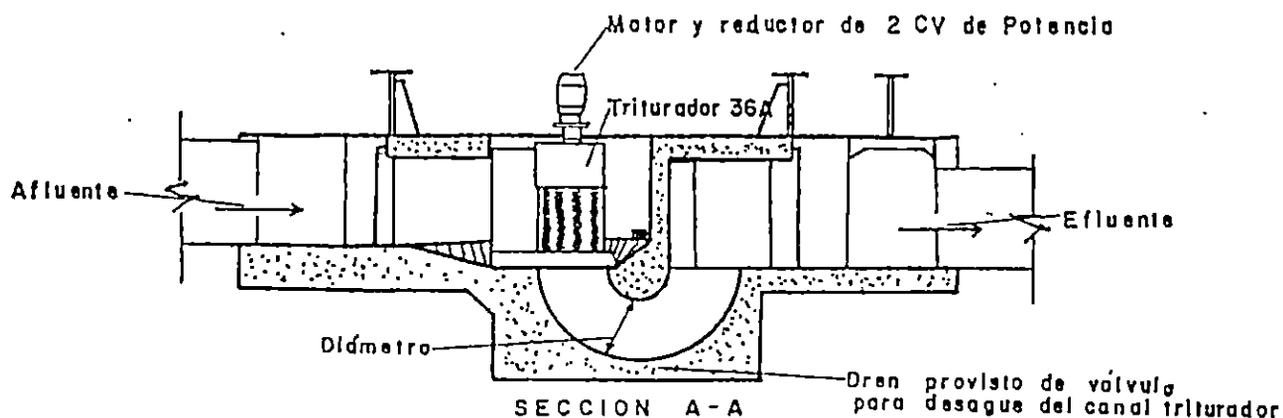
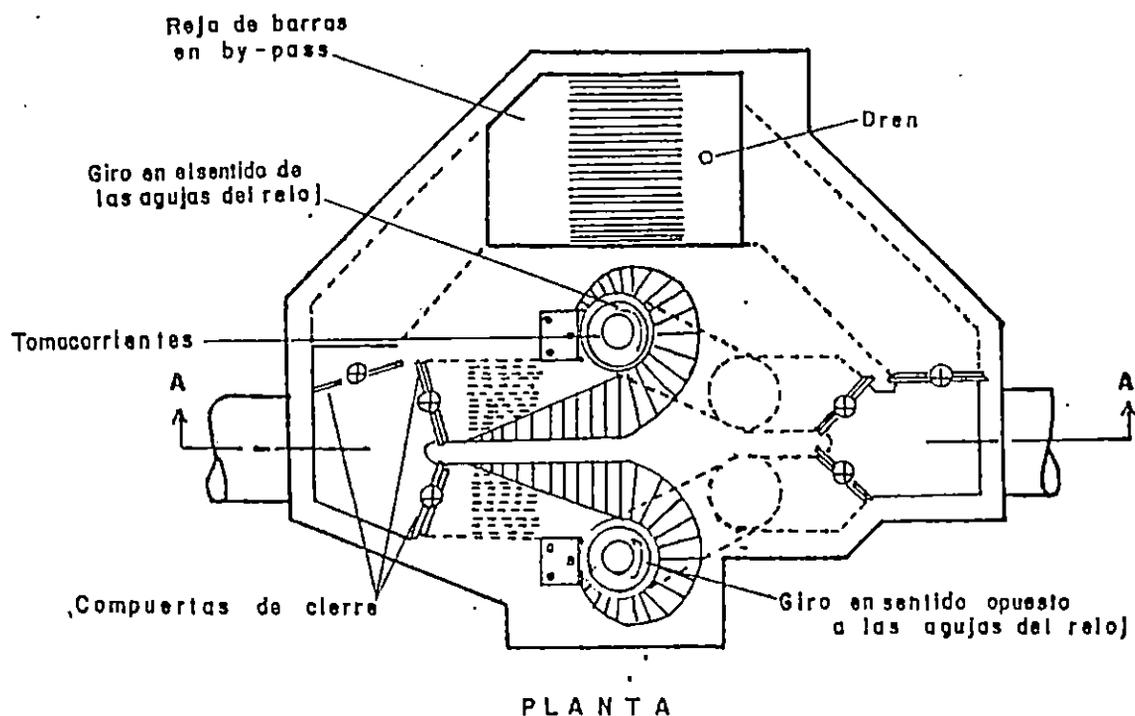


FIGURA DE TRITURADOR DE SOLIDOS

1.3.2.2 SISTEMA NO MECANIZADO

Se dice que un sistema de tratamiento es no mecanizado, cuando se logra un aprovechamiento total de la topografía del terreno, y así el agua residual, para desplazarse a través del sistema utiliza únicamente la energía gravitatoria, aparte de que no se hace uso de elementos mecánicos tales como compresores o aereadores de superficie. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales del tipo no mecanizado, pueden estar compuestos por varios elementos dentro de los cuales podemos mencionar:

- Trampa de Sólidos.
- Medidores de Caudal.
- Tanque imhoff.
- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.
- Lechos de Secado.
- etc.

Es importante tener en cuenta que existen en nuestro país muchos procesos de tratamiento de tipo no mecanizado, de los cuales algunos son utilizados y otros no, tomando como base para ello el grado de adaptabilidad de estos al medio imperante, entre estos podemos mencionar:

- Tanques de Sedimentación Simple.
- Lagunas de Estabilización.
- Tanques Sépticos o Fosas Sépticas.
- etc.

1.3.3 PROCESOS UNITARIOS BIOLÓGICOS

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es reducir el contenido orgánico.

En la mayoría de los casos el agua residual puede ser tratada biológicamente, a base de conseguir un control ambiental adecuado. Por tanto, compete al ingeniero sanitario asegurar que exista tal ambiente y que esté controlado eficazmente, lo que puede conseguirse con una selección cuidadosa del método de introducción del agua residual en las unidades de tratamiento.

1.3.3.1 CICLOS AEROBIO Y ANAEROBIO

Existen dos ciclos muy importantes en la naturaleza, los cuales suponen el crecimiento y descomposición de la materia orgánica.

CICLO AEROBIO

En el que el oxígeno se utiliza para la descomposición de la materia orgánica.

CICLO ANAEROBIO

En el que no se utiliza oxígeno para la descomposición de la materia orgánica.

Estos dos ciclos se muestran en las figuras 1 y 2. Los elementos del nitrógeno y azufre aparecen como partes integrantes de los ciclos. Aún cuando estos dos elementos son importantes en la síntesis y descomposición de la materia orgánica no son los únicos.

Debe hacerse notar que la denominación de aerobio y anaerobio se aplica solamente a la parte derecha de las figuras 1 y 2, o la parte de la descomposición de los ciclos. es aquí donde la materia orgánica muerta se descompone por vez primera en productos iniciales e intermedios, antes de que se produzcan los productos estabilizados finales. Tanto las bacterias heterótrofas como las autótrofas se hallan presentes en los muchos procesos de biodegradación requeridos para obtener los productos finales estabilizados. En los sistemas aerobios los productos finales de degradación se oxidan más y por lo tanto quedan a un nivel menor de energía que los productos finales del sistema de degradación anaerobia. Esto explica el hecho de que se libere mucha más energía en la degradación aerobia que en la anaerobia. Consecuencia de ello es que la degradación anaerobia es un proceso mucho mas lento.

La parte izquierda del ciclo es igual para los sistemas aerobio y anaerobio. Esta parte comprende la formación o síntesis de la materia orgánica necesaria para la vida animal o vegetal. A veces, y debido a la muerte o residuos de vida animal, existe materia orgánica muerta disponible a los descomponedores bacterianos y el ciclo se repite de nuevo.

La descomposición de los residuos se acelera al controlar el medio ambiente de los microorganismos. Sin perjuicio del tipo de residuo de que se trata, el proceso de tratamiento biológico consiste en controlar el medio requerido para un crecimiento óptimo de los microorganismos.

ATMOSFERA

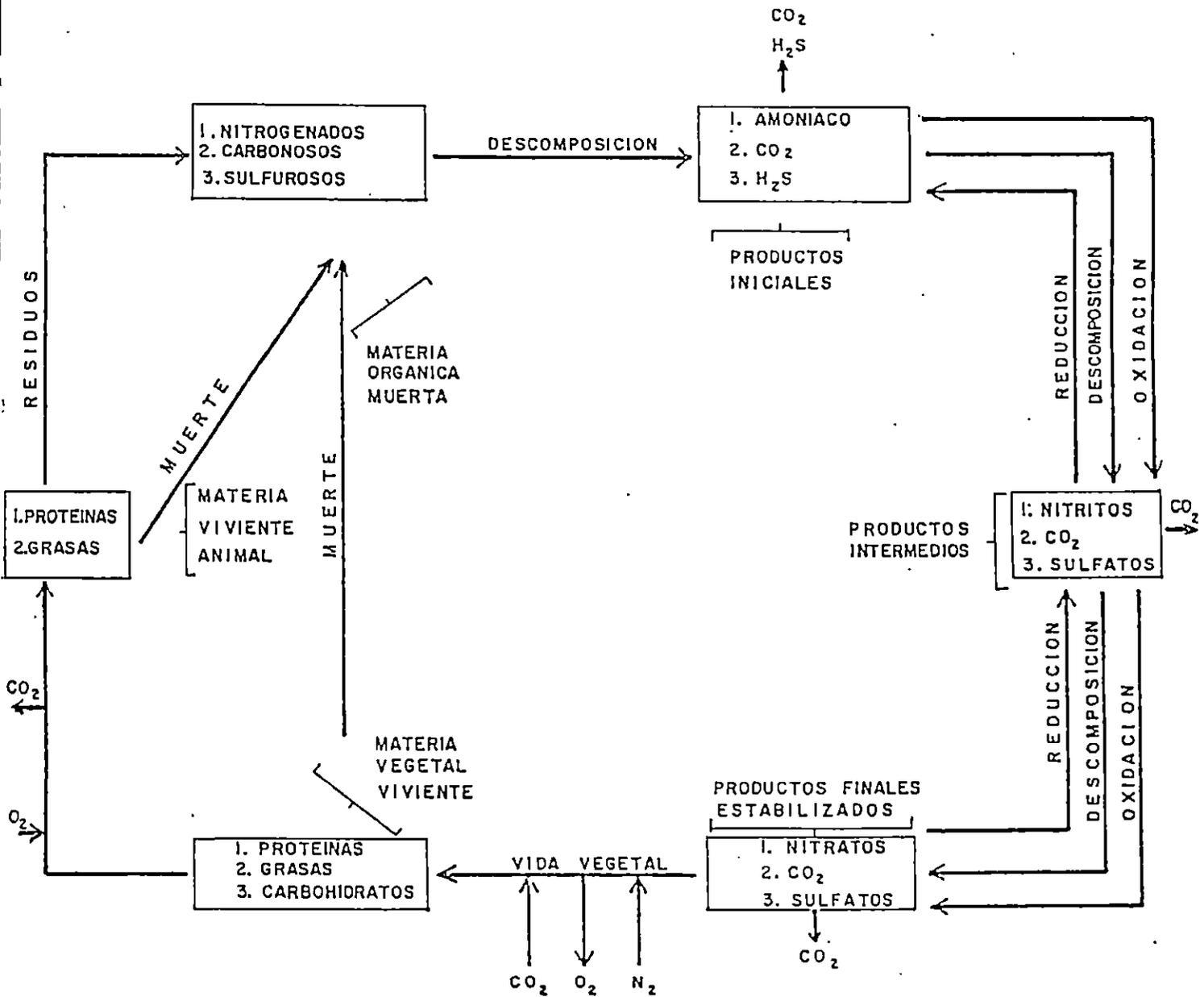


FIGURA 1 CICLO AEROBICO

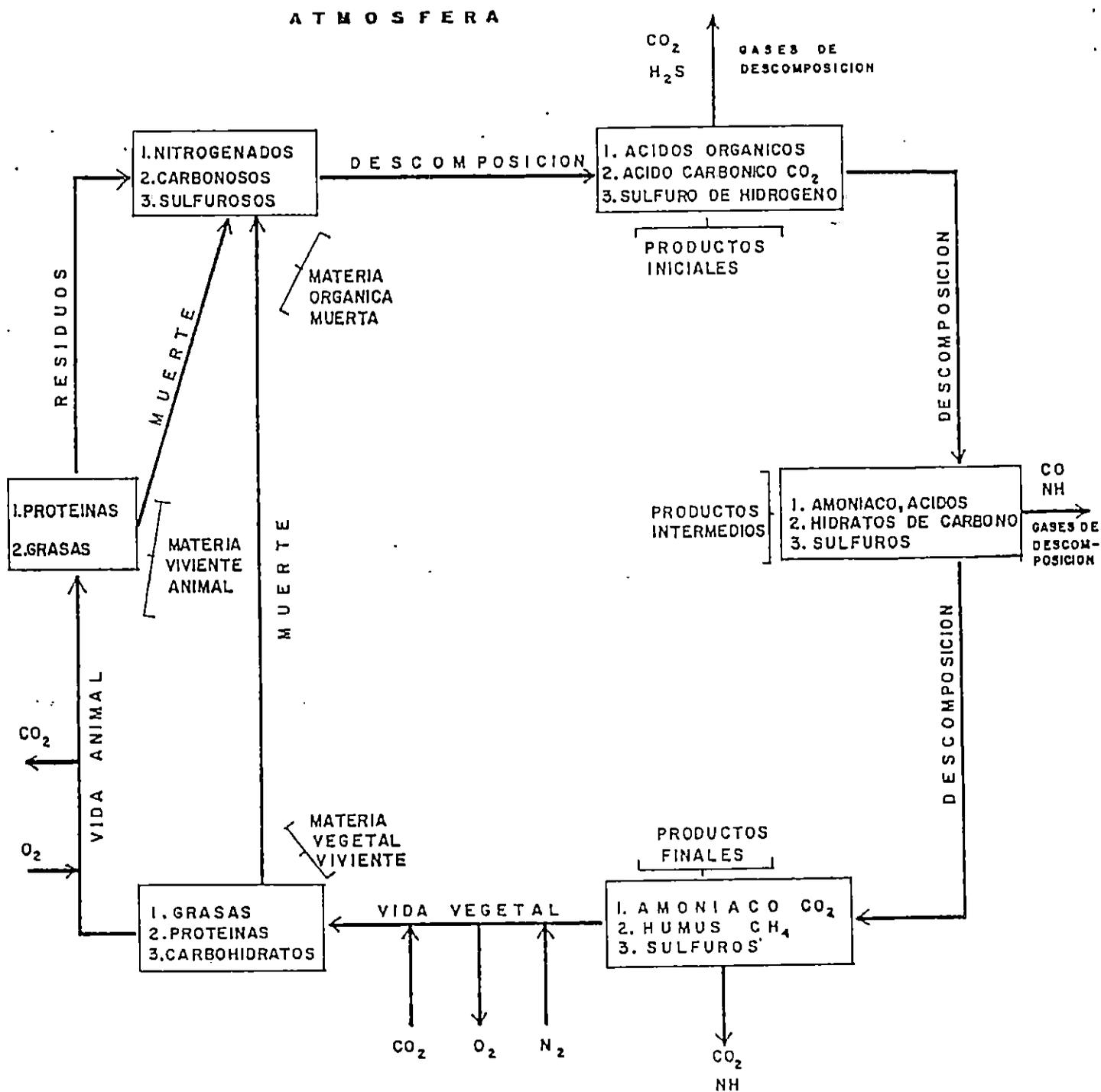


FIGURA 2 CICLO ANAEROBICO

1.3.3.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos. En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue mediante microorganismos aerobios y facultativos; en los procesos anaerobios, se utilizan los microorganismos anaerobios y facultativos.

Los tratamientos biológicos de aguas residuales son semejantes al proceso de depuración de un río. La diferencia es que el tratamiento es hecho en tanques y utilizándose ciertos equipos, en condiciones controladas y en concentraciones de organismos más altas para acelerar el proceso.

1.3.3.2.1 TRATAMIENTO AEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

En un proceso de tratamiento aeróbico, como se tiene conocimiento de la degradación de la materia orgánica se da en presencia de oxígeno libre, requerido para que sobrevivan las bacterias aeróbicas encargadas de esta misión.

Los microorganismos son usados para la oxidación de sustancias orgánicas solubles y coloidales con la producción de Dióxido de Carbono (CO_2) y agua en presencia de oxígeno molecular.

El fenómeno que ocurre no es exactamente una filtración, sino un proceso de contacto biológico aeróbico.

En este proceso, las aguas residuales se distribuyen uniformemente sobre el lecho filtrante. El líquido escurre a través de la superficie activa de contacto en tanto que las corrientes de aire, originadas principalmente por diferencias de temperatura, suministran el oxígeno necesario para mantener la vida biológica aerobia de las bacterias.

El líquido es recolectado en un drenaje principal y llevado usualmente a una sedimentación final.

Entre algunos de los procesos aeróbicos que se dan con más frecuencia podemos mencionar: lodos activados, filtros percoladores, estanques de estabilización aerobios. El proceso de lodos activados, se usa casi exclusivamente en las grandes ciudades. Los filtros percoladores son más frecuentes en las ciudades pequeñas y se utilizan así mismo para aguas residuales industriales muy cargadas. Mientras que los estanques de estabilización aerobios encuentran aplicación en ciudades pequeñas en las que se dispone de grandes superficies de terreno.

1.3.3.2.2 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

La digestión anaeróbica no es una tecnología nueva. Ha sido utilizada por diferentes pueblos en todo el mundo por miles de años. Lo novedoso de los diseños modernos, es la variada aplicación del principio a diferentes sustratos bajo diferentes condiciones ambientales de temperatura, carga orgánica y carga hidráulica. Resultando diferentes opciones técnicas de diseño.

La alternativa de las plantas con lodos anaeróbicos de flujo ascendente, se está imponiendo por ser plantas de tipo compacto que demandan poca área. La cual construida con materiales nacionales y tecnología apropiada, y una vez en funcionamiento demanda poco mantenimiento y por tanto los costos de operación son bajos.

La reacción general de un proceso aeróbico es la degradación de materia orgánica con ayuda de oxígeno y bacterias aeróbicas en agua, dióxido de carbono y biomasa en contraste, los sistemas anaeróbicos degradan el mismo sustrato orgánico en metano, dióxido de carbono y biomasa, todo esto en ausencia de oxígeno.

Las bacterias aeróbicas dedican la mayor parte de su energía a reproducirse, mientras que las bacterias anaeróbicas se

dedican basicamente a la producción de energía en forma de gas metano.

El proceso anaerobio es un efectivo método para el tratamiento de muchos residuos orgánicos. Este tratamiento es realizado por organismos facultativos o anaerobios que en ausencia de oxígeno convierten el material orgánico en CO_2 y gas metano (CH_4). Este proceso necesita dos etapas. En la primera etapa los residuos orgánicos complejos, incluyendo grasas, proteínas y polisacáridos son hidrolizados a compuestos más simples, principalmente ácidos volátiles y alcohol, por bacterias facultativas o anaeróbicas. Esta etapa es conocida como "fermentación ácida". Ocurre en esta etapa pequeña utilización del material orgánico. En la segunda etapa, los productos finales de la primera etapa son convertidos a gases (CH_4 y CO_2) por diferentes tipos de bacterias anaerobias y entonces ocurre la degradación del material orgánico. Esta etapa es conocida como "fermentación metánica". Las dos etapas son ilustradas en la figura 3 .

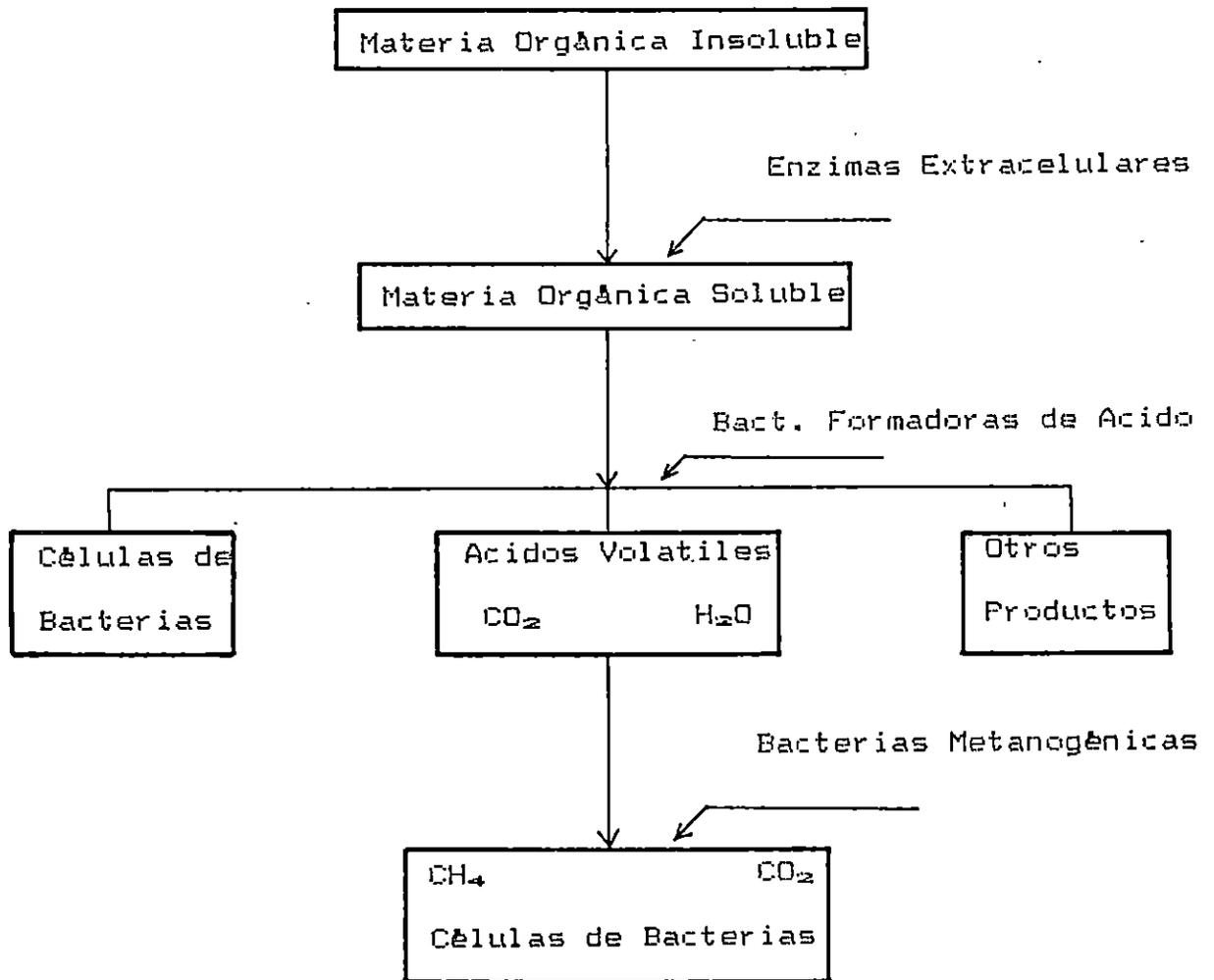


FIGURA 3. Mecanismo Secuencial del Tratamiento Anaeróbico.

FUENTE : Curso Sobre Diseño Simplificado de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales,
Ing. Antonio Carlos Rossin

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La principal aplicación se halla en la digestión de los lodos de aguas residuales domésticas una vez concentrados, así como en el tratamiento de algunos residuos industriales; sin embargo, mediante el proceso de contacto anaerobio y el filtro anaerobio se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos pueden tratarse anaerobiamente. También se aplica éste tratamiento a los estanques y lagunas anaerobias.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia orgánica se dividen frecuentemente en dos grupos. El primer grupo hidroliza y fermenta compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido propiónico. Este grupo de microorganismos se compone de bacterias facultativas y anaerobias, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

El segundo grupo convierte los ácidos orgánicos formados por el primer grupo en gas metano, hidrógeno sulfurado y bióxido de carbono. Las bacterias responsables de ésta conversión son anaerobias estrictas y se les conoce como bacterias formadoras de metano. Las bacterias más importantes de este grupo (son las que degradan el ácido acético y el ácido propiónico) tienen tasas de crecimiento muy lentas y por

ello, su metabolismo se considera como limitante del tratamiento anaerobio de un residuo orgánico. En esta segunda fase tiene realmente lugar la estabilización del residuo, al convertirse los ácidos orgánicos en metano y anhídrido carbónico; el gas metano así obtenido es sumamente insoluble y su separación de la solución representa la estabilización real del residuo.

Lo económico del tratamiento se basa en la aplicación de una alta carga en un tiempo de retención relativamente corto.

Al objeto de mantener un sistema de tratamiento anaerobio que estabiliza correctamente el residuo orgánico, los microorganismos formadores de ácidos y de metano deben hallarse en estado de equilibrio dinámico .

A fin de establecer y mantener tal estado, el contenido del reactor en que se encuentren, deberá carecer de oxígeno disuelto y estar libre de concentraciones inhibitorias de constituyentes tales como metales pesados y sulfuros, debiendo el elemento acuoso circulante encontrarse a un pH entre 6.6 y 7.6

Deberá existir una alcalinidad suficiente como para asegurar que el pH del sistema no descienda por debajo de 6.2, ya que las formadoras de metano no actúan por debajo de dicho punto. Mientras la digestión prosiga normalmente, la alcalinidad oscilará entre 1000 y 5000 mg/l y la

concentración de ácidos volátiles será inferior a 250 mg/l. Deberá disponerse de cantidad suficiente de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, para asegurar el crecimiento adecuado de la comunidad biológica.

La temperatura es otro importante parámetro ambiental a tener en cuenta oscilando la óptima entre la mesófila (30 a 37 °C) y la termófila (48 a 57 °C). En la tabla # 2 se resumen las condiciones ambientales citadas:

Tabla 2 Condiciones óptimas para el tratamiento anaerobio de residuos.

Temperaturas óptimas:

Intervalo mesófilo: 29°C a 38°C

Intervalo termófilo : 49°C a 57°C

Condiciones anaerobias:

Suficientes nutrientes biológicos:

Nitrógeno

Fósforo

Otros

pH óptimo : 6.6 a 7.6

Ausencia de materias tóxicas

FUENTE: Tratamiento y depuración de Aguas Residuales,
Metcalf and Eddy

Las ventajas e inconvenientes del tratamiento anaerobio de un residuo orgánico, al compararse con otro de tipo aerobio, provienen del lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano de las cuales son particularmente importantes las causantes de la fermentación de los ácidos acético y propiónico.

Con las bacterias formadoras de metano, la mayor parte del residuo orgánico se transforma en gas metano, el cual es combustible y, por tanto, se trata de un producto final útil.

Debido a la escasa producción de microorganismos en un tratamiento anaerobio de residuos, la necesidad de nutrientes biológicos tales como nitrógeno y fósforo es baja, y la cantidad de microorganismos a purgar es menor si se compara con procesos aerobios tales como de lodos activados. El lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano limita igualmente el tratamiento anaerobio de un residuo orgánico, por cuanto dichos microorganismos reaccionan lentamente frente a condiciones ambientales cambiantes. Por ello, se necesitan periodos de tiempo relativamente largos para establecer un sistema equilibrado.

A causa de la pequeña tasa de crecimiento celular y de la conversión de materia orgánica en gas metano y anhídrido carbónico, la materia sólida resultante está bastante bien estabilizada y, con frecuencia, es apta para su descarga,

tras su secado o deshidratación en vertederos o extendida sobre la tierra como acondicionador de la misma o material similar al humus. Por otro lado, los sólidos del lodo procedentes de procesos aerobios tienen que ser digeridos por lo general anaeróbicamente, o deshidratados e incinerados, debido a la gran proporción de materia orgánica celular contenida en estos.

A las altas temperaturas necesarias para lograr un adecuado tratamiento se les achaca con frecuencia los inconvenientes con que tropieza el proceso del tratamiento anaerobio.

Sin embargo, dichas temperaturas sólo son necesarias cuando no puedan obtenerse tiempos medios de retención celular suficientemente largos a las temperaturas nominales.

La población bacteriana responsable del proceso anaeróbico está formada por lo menos de cuatro familias típicas:

- Bacterias Hidrolíticas
- Bacterias Acetogénicas
- Bacterias Metanogénicas (productoras de H_2)
- Bacterias Homo-Acetogénicas

En lo procesos anaeróbicos la bioquímica y la microbiología son muchos más complicados que en los procesos aeróbicos.

CAPITULO II

PLANTA PILOTO

CAPITULO II

2.0 PLANTA PILOTO

2.1 COMPONENTES DE TRATAMIENTO

2.1.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR

El objetivo básico del tratamiento preliminar consiste en la separación de las aguas negras de aquellos elementos de gran tamaño flotantes o no, de constitución orgánica e inorgánica, así como la eliminación de cantidades excesivas de aceites o grasas que pueden ocasionar interferencias con los procesos subsecuentes del tratamiento.

Dependiendo de las condiciones exigidas para el vertido del efluente, así será el grado de tratamiento preliminar utilizado en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. En la descripción de las unidades componentes del tratamiento preliminar se evitará el uso de dispositivos mecanizados como trituradores y desintegradores.

Entre los dispositivos que podemos colocar como unidades de tratamiento primario tenemos:

- Rejas
- Desengrasadores
- Desarenadores
- Medidores de Caudal

REJAS

Su objetivo es el de proteger las diversas unidades de cada uno de los sistemas de tratamiento en la planta, contra el atascamiento de sólidos gruesos o materiales fibrosos (ver fig.4, anexo 5).

Algunas características de las rejjas son:

- a) El diámetro de la barra será de 5 a 15 mm, con una profundidad de 25 a 75 cm.
- b) La separación de las barras oscila entre 25 y 50 mm.
- c) El ángulo de inclinación de las barras se mantiene entre 30 y 45 grados con respecto a la vertical.
- d) La velocidad de aproximación de las rejjas estará entre 0.3 y 0.6 mt/seg.

DESENGRASADORES

Estos son tanques con tiempo de permanencia corto, y en los cuales emergen a la superficie las partículas con gravedad específica menor que la del agua.

Generalmente son de forma rectangular, en una proporción largo/ancho = 1.10/1.80. Se emplea por lo general el diseño de ancho creciente y el fondo inclinado en la salida.

MEDIDORES DE CAUDAL

Estos medidores de caudal no son exactamente unidades de tratamiento preliminar, sino más bien son dispositivos adicionales que se colocan y como su nombre lo indica, sirven para medir el caudal que está pasando en un momento determinado.

Los medidores de caudal se colocan después de las rejillas y se definen como simples aberturas sobre las cuales fluye un líquido en canal abierto, para medir grandes caudales se utilizan los medidores Parshall o Palmer Bowls, así como también para medir pequeños caudales se utilizan los medidores rectangulares, trapezoidales y triangulares (ver fig. 5, anexo 5).

Se puede seleccionar el medidor Parshall como dispositivo de aforo del canal o tubería que ingresa a la planta de tratamiento por ser bastante exacto, por su bajo costo relativo y por la facilidad de construcción y manejo de éste.

Estos dispositivos proveen datos cronológicos del caudal y sus variaciones sirven para desarrollar criterios de diseño en futuras ampliaciones, así como para evaluar el funcionamiento en el proceso de tratamiento.

En la tabla 3 se muestran los principales procesos y operaciones de los elementos, así como las funciones que estos desempeñan al aplicarlos al tratamiento preliminar de aguas residuales domésticas.

TABLA 3 APLICACION DE CADA UNA DE LAS VARIANTES DE SISTEMA PRELIMINAR.

OPERACION O PROCESO	FUNCION
Rejas y Cribas de Barro	Eliminación por interceptación de sólidos de gran tamaño.
Desengrasadores	Eliminación de sólidos flotantes más ligeros, tales como grasas, jabón, corcho madera, etc.
Desarenadores	Eliminación de arenas.
Medidor y repartidor de caudales	Proveer datos históricos sobre el caudal y sus variaciones para desarrollar criterios de diseño.

2.1.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos sedimentables para disminuir la carga del tratamiento biológico por efecto de una disminución conveniente de la velocidad de flujo.

Los tanques de sedimentación son los principales dispositivos utilizados en el tratamiento primario, algunos tienen diseños, que combinan la digestión de los sólidos sedimentables o lodos, con la sedimentación.

Los procesos de tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: Tanques Imhoff, Tanques de Sedimentación, Fosas Sépticas, etc.

FOSAS SEPTICAS

Se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas residuales de residencias individuales. En las zonas rurales también se emplean en escuelas y casas de campo.

Hay algunas situaciones en las cuales prevalecen situaciones técnicas para la adopción de este tipo de tratamiento, como es el caso de condiciones topográficas adversas, en el cual no se puede drenar el agua residual hacia colectores primarios o redes secundarias. También se presentan situaciones en las que es anti-económico el tratar de evacuar las aguas residuales hacia las redes existentes por estar muy distantes uno del otro.

Aunque a menudo se usan fosas de una sola cámara, el tipo adecuado consiste en dos o más cámaras en serie. En una fosa de doble cámara, el primer compartimiento se utiliza para la sedimentación, digestión del lodo y almacenamiento de éste. - El segundo compartimiento proporciona una sedimentación y capacidad de almacenamiento de lodo adicional y, por tanto, sirve para proteger contra la descarga de lodo u otro material que pueda escaparse de la primera cámara. Cuando se proyecta para una sola residencia, se utilizará un período de retención de 24 horas. En instalaciones que den servicio a instituciones o a varias familias, es permisible un período de retención mas corto. Es esencial disponer de la adecuada capacidad de almacenamiento, para que el lodo depositado pueda permanecer en el tanque durante un tiempo suficientemente largo para que se produzca su descomposición y digestión antes de ser extraído. Por lo general, el lodo deberá extraerse cada dos o tres años (ver fig. 6, anexo 5).

El efluente de las fosas sépticas se evacúa normalmente a unos tubos enterrados en el sub-suelo, o a zanjas de infiltración, desde donde se infiltra en el terreno.

En cuanto a las características del efluente líquido proveniente de las fosas sépticas, no se permite su utilización para la irrigación de áreas agrícolas o para la crianza de peces.

TANQUES DE SEDIMENTACION.

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse y los de menor peso específico a ascender. Estos principios se utilizan en el diseño de los tanques de sedimentación para el tratamiento de aguas residuales. La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante y, por tanto, reducir el contenido de sólidos suspendidos.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el grado principal del tratamiento de agua residual o bien se puede utilizar como un paso preliminar para el tratamiento posterior. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, estos tanques sirven para la eliminación de los sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de lodos en las aguas receptoras y de gran parte de las materias flotantes. Si se emplean como un paso previo a un tratamiento biológico, su función es reducir la carga en las unidades de tratamiento biológico.

Cuando los tanques de sedimentación primaria preceden a los procesos de cargamiento biológico, podrán ser diseñados de forma que sus tiempos de retención sean menores y tengan una carga de superficie mas alta que los tanques que se utilizan como único método de tratamiento.

Los tanques de sedimentación pequeños, deben ser proyectados sin equipo mecánico. La forma de ellos puede ser rectangular, cuadrada y circular (con un diámetro máximo de 3.6 metros y una tolva de lodo central). En estos casos la inclinación de las paredes de las tolvas de lodo serán de por lo menos 60 grados con respecto a la horizontal.

La remoción de lodos es por lo general hidrostática y no requiere de equipos.

Los parámetros de diseño para un tanque de sedimentación primaria y su eficiencia deben idealmente ser determinados experimentalmente.

Cuando se diseñen tanques convencionales de sedimentación primaria sin datos experimentales se utilizarán los siguientes criterios de diseño: 4/*

- a) Los canales de repartición y entrada a los tanques deben ser diseñados para el caudal máximo horario.
- b) Los requisitos de área deben determinarse usando cargas superficiales entre 30 y 60 mt/día, basados en el caudal medio de diseño, lo cual corresponde a una velocidad de sedimentación de 1.25 a 2.5 mt/hr.
- c) El periodo de retención nominal será entre 1.5 a 2.5 horas (recomendable 2 horas), basados en el caudal medio de diseño.
- d) La profundidad se obtiene del producto de los parámetros antes indicados y debe estar entre 3.0 y 3.5 mt (recomendable 3.0 mt)
- e) La relación largo/ancho debe estar entre 3 y 10 (recomendable 4) y la relación largo/profundidad debe ser igual o menor que 30.

4/* Tratamiento de Aguas Cloacales en la Ciudad de Nuevo Ocotepeque (Honduras)

Raúl Mendizabal Suárez

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1965.

f) La carga hidráulica en los vertederos será de 125 a 500 $\text{m}^3/\text{día}$ por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal medio de diseño.

TANQUES IMHOFF

Los tanques de dos compartimientos como son los tanques Imhoff, son unidades de sedimentación y digestión, generalmente abiertas de escurrimiento horizontal y continuo, los cuales en el compartimiento superior destinado a la decantación se comunican con la cámara inferior de digestión únicamente por la abertura destinada al paso de los sólidos.

Los inconvenientes del tanque séptico, inventado por Mouras en 1880, fueron reconocidos en los primeros años de su aplicación: la realización de una única cámara con las dos funciones de sedimentación y digestión propicia interferencia entre estos dos procesos.

La idea original de dividir los tanques se desprende de las observaciones hechas por Clark en la famosa estación experimental de Lawrence, Massachusetts (1899).

La primera realización de un tanque de dos compartimientos se debe al Dr. Travis, de Hampton, Inglaterra, que concibió y construyó el "Tanque Hidrolítico", en 1903, basado en las observaciones hechas en Lawrence.

Karl Imhoff después de haber experimentado con el tanque Travis idealizó un nuevo tipo de unidad (1906) que pasó a ser aplicado en las instalaciones de la cuenca del Emscher y que actualmente lleva su nombre.

Los tanques Imhoff son tanques de sedimentación primaria, y consisten en un dispositivo de dos pisos en que se consigue la sedimentación en el compartimiento superior y la digestión en el inferior (ver fig. 7, anexo 5), los sólidos que se sedimentan atraviesan unas ranuras existentes en el fondo del compartimiento superior, pasando al compartimiento inferior para una digestión a la temperatura ambiente. La espuma se acumula en los compartimientos de sedimentación, así como en unos respiraderos de gas situados al lado. El gas producido en el proceso de digestión en el compartimiento inferior se escapa a través de respiraderos. Es sencillo de operar y no exige la supervisión por parte de personal especializado. No existe equipo mecánico que mantener, su funcionamiento consiste en eliminar la espuma a diario para descargarla en el respiradero de gas más próximo, y la extracción de lodo periódicamente hacia los lechos de secado.

Para el diseño de la zona de sedimentación se considera un volumen mínimo de 1,500 lt, utilizando los siguientes criterios: 5/*

a) Se determinará el área requerida para el proceso con una carga superficial de un $1 \text{ mt}^3/\text{mt}^2\cdot\text{h}$

b) El periodo de retención nominal será entre 1 a 1.5 horas

Del producto de la carga superficial y el periodo de retención se obtendrá la profundidad.

c) Alternativamente se dimensionará la cámara de decantación con una tasa de 30 lt/hab.

d) El fondo del tanque será la sección transversal en forma de "V" y la pendiente de los lados, hacia la arista central será del 67% al 80%.

e) En la arista central se dejará una abertura para el paso de los sólidos de 0.15 a 0.20 mt.

f) El borde libre será entre 0.30 a 0.60 mt.

Para el diseño del compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (zona de digestión), se considera un volumen mínimo de 3,000 lt, utilizando los siguientes criterios: 6/*

5/* y 6/* Tratamiento de Aguas Cloacales en la Ciudad de Nuevo Ocotepeque (Honduras)

Raúl Mendizabal Suárez.

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1965.

- a) El compartimiento se diseña para almacenar lodos durante un periodo de 60 días, al cabo del cual se considerará completa la digestión.
- b) Alternativamente se determina el volumen del compartimiento de lodos considerando un espacio de 60 litros por habitante.
- c) El fondo del compartimiento tendrá la forma de un tronco de pirámide, cuyas paredes tendrán una inclinación de 30 a 45 grados con respecto a la horizontal.

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas) se considerará un volumen mínimo de 1,500 litros usando los criterios siguientes: 7/*

- a) El espaciamiento libre será de 0.60 mt. como mínimo.
- b) La superficie libre total será por lo menos de 20% y preferiblemente 30% del área total del compartimiento de digestión.
- c) Alternativamente se determinará el volumen de la zona de espumas usando una tasa de 30 lt/hab.

7/* Tratamiento de Aguas Cloacales en la Ciudad de Nuevo Ocotepeque (Honduras)

Raúl Mendizabal Suárez

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1965.

Los dispositivos para remoción de los lodos digeridos deben ser diseñados en forma similar que para tanques de sedimentación primaria, considerando que los lodos son retirados para secado en forma intermitente. Para tal efecto se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) El diámetro mínimo de las tuberías de remoción de lodos será de 20 centímetros.
- b) La tubería de remoción de lodos debe estar 15 centímetros por encima del fondo del tanque.
- c) Para remoción hidráulica de lodo se requiere por lo menos de una carga hidrostática de 1.50 metros.

2.1.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.)

PRINCIPIOS

Los reactores a excepción del tipo de colchón de barro, consisten en una columna cilíndrica parcialmente llena de arena o cualquier medio filtrante cuyos granos pueden o no ser fluidizados según el tipo de reactor.

El influente consiste a veces de la combinación de aguas negras y aguas recirculadas.

La velocidad útil de ascenso oscila entre 20 y 40 mt/hora.

Los reactores pueden trabajar solos o en varias unidades en serie o en paralelo.

Generalmente un sistema de dos etapas se hace necesario para lograr un estado estable (Steady State) del proceso anaerobio.

Para estudiar la cinética de un reactor, se debe ensayar previamente en una planta piloto, la cual debe de tener como elemento secundario un reactor que deberá aclimatarse al

medio imperante durante un periodo de varios meses, hasta lograr un estado satisfactorio en la metanización y reducción de la DQO. Dentro del reactor se suceden dos etapas bien definidas a saber: la etapa de acidificación, y la etapa de metanización, estas etapas ya fueron mencionadas en el primer capítulo del presente documento. A más de las etapas de acidificación y metanización, en algunos reactores se realizan las etapas de desnitrificación y nitrificación, con lo cual se logra no sólo la purificación de las aguas negras, sino la remoción de los compuestos de carbono y nitrógeno.

Es importante distinguir entre los tipos de reactores y procesos de tratamiento, pues se cree que existen muchos más tipos de reactores de los que se han logrado en realidad debido a los diversos nombres comerciales, como son conocidos o la confusión inherente al hecho que uno o más tipos de reactores son incluidos en un esquema total de tratamiento (Henzen y Harremoes) propiamente. El número de reactores en los últimos cinco a diez años, pueden reducirse a ocho tipos básicos que cubren todo el rango de reactores usados hasta el presente, los cuales son:

- Reactor de Lecho Fijo
- Reactor de lecho Móvil
- Reactor de Lecho Expandido
- Reactor de Lecho Fluidizado
- Reactor de Lecho Reciclado
- Reactor de Flóculos Reciclados o de Contacto
- Reactor Tipo Digestor
- Reactor de Colchón de Lodo o Reactor Tipo Clarigestor

GENERALIDADES

Este sistema es considerado como Tratamiento Secundario (Filtración Biológica) y son estructuras que funcionan bajo flujo ascendente que consisten en un reactor en el cuál el afluente es introducido a través de un sistema de distribución localizado en el fondo y fluye hacia arriba atravesando un medio de contacto anaerobio, en el cual los microorganismos se adhieren al medio inerte que puede ser cualquiera de los medios conocidos y usados. En la parte superior existe una zona de separación de fases y el afluente clarificado sale por la parte superior. Los tiempos de permanencia de estos procesos son relativamente cortos. Existen basicamente dos tipos de reactores de flujo ascendente:

- A) Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) con Manto de Lodos (UASB)
- B) Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente de Lecho Fluidizado.

A) RAFA con manto de lodos

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y manto de lodos, también conocido como U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), fué desarrollado por Lettinga y otros en 1979 y 1980 en Holanda, es una unidad de nueva tecnología, cuyas principales características son: el bajo costo, la simplicidad y la posibilidad de modulación. Es un tanque digestor en cuya parte superior tiene un sistema de decantación y un sistema de deflexión de gases

El agua residual entra uniformemente distribuida por el fondo y su flujo es hacia arriba (ver fig. 8, anexo 5).

En el fondo del reactor se forma un manto de lodos responsable de degradar la materia orgánica, transformandola en metano, bioxido de carbono y nuevas bacterias.

Durante el ascenso hay sedimentación y el lodo practicamente se estratifica en toda la altura, ubicandose lo más denso hacia la parte inferior.

El efluente del reactor usualmente es tratado en alguna otra unidad ya que la eficiencia de remoción del RAFA es de un 15% menor que otros sistemas. El lodo acumulado puede llegar a ser excesivo, por lo que se hace indispensable drenar parte de él cuando sea necesario. El biogas acumulado puede ser aprovechado, y puede servir para producir energía.

El área requerida para su ubicación es sumamente reducida y no necesita de ningún equipo electromecánico para su operación.

Ventajas y Desventajas del RAFA con manto de lodos

Las principales ventajas del RAFA son:

- Un área necesaria muy pequeña.
- Los costos de inversión son bajos.
- La posibilidad de construirse en módulos
- No se requiere de ningún equipo electromecánico para su operación.
- Es posible aplicarlo en comunidades de cualquier tamaño.
- Genera metano que es un gas combustible.

Como desventajas se tienen

- La eficiencia en remoción de materia orgánica es de un 15% menos que otros tratamientos convencionales.
- Es necesario tener cuidado y lentitud para comenzar a operar correctamente, esto se debe principalmente al desarrollo de las bacterias metanogénicas.

Características del RAFA con manto de lodos

- En Latinoamérica no se produce recirculación de lodos ni agitación mecánica para evitar el uso de equipo electromecánico.
- En la parte superior del reactor hay una separación entre gases, líquidos y sólidos.
- Por ser de flujo ascendente, la biomasa forma flocúlos de colonias de bacterias que al sedimentarse se transforman en una capa de lodo granular.
- Sobre la capa de lodos floculados se forma un espacio de sedimentación, por lo que se previene la pérdida de lodos.
- La carga orgánica puede ser de 5 a 30 kg. de DQO por día por metro cúbico (5 - 30 kg/mt³-día) de volumen del reactor, valores normales de 8 a 15 para aguas industriales.

- El porcentaje de remoción de DQO puede llegar a ser de 60 a 85%.
- La DQO del efluente puede variar entre 200 y 70000 mg/lt.
- El tiempo de retención hidráulica puede variar entre pocas horas y algunos días.
- La producción de gases es de 0.15 a 0.30 m^3/kg de DQO.
- El aumento de lodo es de 0.04 a 0.15 kg por kg de DQO eliminado.
- Algunos parámetros que se deben tener en cuenta para el buen funcionamiento de un RAFA son:
 - a) Sustancias tóxicas o condiciones de toxicidad.
 - b) Temperatura.
 - c) Acidez y Alcalinidad.
 - d) Sulfatos.
 - e) Concentraciones de Sólidos.
 - f) pH.
 - g) Ácidos grasos volátiles.

Aplicación del RAFA con manto de lodos

Estas unidades de tratamiento pueden ser utilizadas para tratar aguas residuales de origen doméstico para poblaciones de diversos tamaños, tomando en cuenta que el efluente debe ser tratado con algún otro proceso.

Además, el RAFA puede tener aplicación en aguas de desechos de origen industrial, evitando sobrecargas que desestabilicen el proceso.

También aprovechando que el sistema es generador de energía (gas metano), resulta atractivo para el sector industrial.

Algunas de las industrias para las cuales se recomienda la aplicación del RAFA son las de alimentos (comestibles y bebidas), entre las cuales podemos mencionar: molinos de granos, refinerías de azúcar, cervecerías, lecherías, mataderos, pulpa y papel, alcohol y licor, etc. Además, industrias químicas de productos orgánicos.

B) RAFA de Lecho Fluidizado

En este tipo de reactor los microorganismos se adhieren al medio inerte, el cuál puede ser cualquiera de los medios conocidos y usados, pero el medio además puede ser arena, carbón activado o granate. El medio cubierto por la biopelícula es fluidizado por una velocidad vertical alta, que demanda un alto grado de reciclaje. La expansión del lecho es controlada por la velocidad vertical y el nivel de salida del reciclaje. La producción de gas puede crear espumas y floración en la cabeza del reactor, condiciones indeseables que se deben controlar por medios hidráulicos o mecánicos con el fin de impedir el escape de las partículas junto con las aguas negras tratadas.

2.1.4 TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO

A veces los procesos primarios y secundarios a los que se someten las aguas residuales, no son suficientes debido al grado de depuración necesarios que hay que aplicarles. En estos casos se implementan tratamientos adicionales para completar la acción de los procesos anteriores.

Los sistemas de tratamiento complementario pueden dividirse en dos grandes grupos:

- A- Los aplicados al efluente de un tratamiento secundario.
- B- Los aplicados a los lodos provenientes de un tratamiento primario o secundario.

LECHOS DE SECADO

Se utilizan para deshidratar el lodo digerido, extendiendolos sobre aquellos sobre una capa de 20 a 25 cm. de espesor y dejandolos secar, una vez seco el lodo se extiende y se usa como material de relleno o como abono.

Los lechos de secado son unidades de tratamiento, generalmente en forma de tanques rectangulares, construidos y protegidos de modo que reciban los lodos provenientes de los digestores o unidades de oxidación total (ver fig. 9, anexo 5).

Pueden clasificarse por las siguientes partes:

- Tanque de Almacenamiento
- Cámara Drenante
- Cobertura

El funcionamiento de los lechos de secado es un proceso natural de pérdidas de humedad que se desarrolla debido a los siguientes fenómenos:

- Liberación de Gases, debido a la presión atmosférica,
- Licuefacción debido a la diferencia de peso específico aparente del lodo digerido y el agua
- Evaporación natural del agua debido al contacto íntimo con la atmósfera
- Evaporación debido al poder calorífico del lodo

OPERACION DE LOS LECHOS DE SECADO

El número de unidades debe ser establecido en función del dimensionamiento, por lo tanto conviene garantizar por lo menos el 20% del área del lecho, para recibir la carga del lodo digerido.

La operación de descarga, limpieza y preparación de los lechos, obedece a la secuencia de tareas relacionadas de la siguiente manera:

- Descargas: Las descargas de lodo crudo o en digestión deben ser evitadas. La camada de lodos descargados en los lechos no debe ser superior a 30 cm. de altura, en operación normal, se adoptan espesuras de 25 cm.

Los lechos ocupados con lodo o sujetos a limpieza no deben ser utilizados para nuevas cargas.

- Remoción de Lodo Seco: El lodo seco debe ser removido tan rápido como sea posible, la demora puede acarrear problemas futuros a la operación de la planta de tratamiento. Puede crecer vegetación.

- Limpieza de la Camada de Cobertura: La práctica de extraer el lodo de los lechos resulta económica solamente en comunidades pequeñas o de tamaño medio.

Para poblaciones superiores de 20 mil habitantes se deben de tener presentes otros medios de deshidratación del lodo.

El área de secado se divide en lechos individuales de aproximadamente 6 mt. de ancho por 6 a 30 mt. de largo, con el tamaño adecuado de forma que uno o dos lechos sean rellenos por una descarga normal de lodo de los digestores. Las particiones interiores consisten en paredes de una altura de hasta 0.40 a 0.45 mt.

La cantidad de lodo a descargar en los lechos puede calcularse bien en función de cierto volumen per-cápita o bien por medio de los kilogramos de sólidos secos por metro cuadrado por año ($\text{kg./mt.}^2 - \text{año}$).

Las tuberías de conducción de lodo a los lechos deberán de estar diseñados para una velocidad de por lo menos 0.75 mt./seg. Se utiliza muy frecuentemente la tubería de hierro colado.

El lodo en condiciones normales de secado podrá ser removido de los lechos después de un período que varía, de 20 a 40 días, cuya humedad oscila en valores de 60 a 70%.

CAPITULO III

RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS DE CAMPO

CAPITULO III

3.0 RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS DE CAMPO

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA

Localización: La planta piloto proyectada para el tratamiento de las aguas residuales se localizará en el costado norte de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (Anexo 4), la cuál está ubicada al nor-poniente de la ciudad capital San Salvador entre las coordenadas 288600 Latitud Nte.y 478200 longitud Oeste , con una altitud promedio de 700 m.s.n.m. Dicha facultad está dividida de la siguiente manera:

- Administración Académica
- Tres edificios principales de aulas
- Seis Escuelas de Ingeniería
- Una escuela de Arquitectura
- Un Laboratorio de Física
- Un Auditorium

La población estimada es de aproximadamente seis mil quinientos habitantes entre alumnos, personal docente y administrativo, según datos obtenidos de la Administración Académica de la Facultad. La Facultad de Ingeniería y Arquitectura , cuenta con todos los servicios básicos: agua

potable y alcantarillado, energía eléctrica, servicio telefónico, y recolección de basura.

Clima: Según datos del servicio de meteorología e hidrología del centro de recursos naturales del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), la zona presenta las siguientes características climatológicas (promedios anuales, estaciones de FENADESAL e ISIC):

TABLA 4 CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA

Descripción	Cant	U	Núm. de años de Registro	Año del Último Regis
Precipitación (Cant. normales)	1740	mm	69	----
Núm. de días de lluvia	134	mm	21	1976
Temperatura Media	23	°C	29	1981
Evaporación a la Intemperie	1751	mm	--	----
Velocidad del Viento	7.8	km/hr	22	----
Dirección del Viento	N O R T E		22	----
Presión Atm.	933.4	mm Hg	34	1980
Humedad Relativa	73	%	25	1976

FUENTE: Almanaque Salvadoreño 1989
 Ministerio de Agricultura y Ganadería
 Centro de Recursos Naturales
 Servicio de Meteorología e Hidrología.

3.1.2 TOPOGRAFIA DEL TERRENO

El levantamiento topográfico del terreno ubicado al norte de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se realizó por el método taquimétrico, trasladando las coordenadas y elevaciones de un banco de marca localizado al costado norponiente del edificio de Ingeniería Mecánica (Anexo 4).

Actualmente las aguas residuales drenan libremente sobre el terreno, el cual se encuentra severamente erosionado, debido a que el suelo es un limo constituido por ceniza volcánica (tierra blanca), el cual es fácilmente erosionable, razón por la cual se están construyendo obras de protección (muros de piedra), procediendo posteriormente a rellenar esa zona, extendiendo la tubería de diámetro de 8 pulg. para que drene fuera de esta zona, por lo que será necesario considerar a futuro la ubicación de la planta piloto.

En el anexo 4 se muestran los registros de cálculos de distancias y elevaciones por métodos taquimétricos, así como el plano topográfico con curvas de nivel a cada metro y perfiles transversales de algunos puntos de interés.



3.1.3 DETERMINACION DE CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para la determinación de un caudal representativo, es necesario evaluar el método a utilizar para medir la cantidad de flujo del afluente, entre los métodos conocidos para medir el gasto de un líquido que pasa a través de una sección transversal dada por unidad de tiempo tenemos:

- Volumétrico
- Vertederos
- Orificios
- Venturímetros, etc.

De los anteriores, los más utilizados son el método volumétrico y del vertedero triangular. El primero es un método rápido y sencillo que consiste en llenar un recipiente de volumen conocido, anotándose el tiempo de llenado; el caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q = V/t$$

donde:

Q = Caudal en mt.³/seg., lt./seg., etc.

V = Volumen en mt.³, lt., etc.

t = tiempo en seg.

El segundo es utilizado para medir flujos muy variables determinándose el caudal de la siguiente manera:

$$Q = \frac{8}{15} C_d (\sqrt{2g} \tan(\theta/2)) H^{3/2}$$

el ángulo central θ más usual es de 90° y haciendo el coeficiente de descarga $C_d = 0.593$ (vertedero triangular) tenemos:

$$Q = 1.40 H^{5/2} \text{ (S.M.)}$$

$$Q = 2.54 H^{5/2} \text{ (S.I.)}$$

donde:

Q = Caudal en $\text{m}^3/\text{seg.}$, $\text{pie}^3/\text{seg.}$

H = Tirante en m. o pie.

El método que se utilizó para realizar el aforo de la tubería de diámetro 8 plg. fue el volumétrico, debido a que es más confiable para caudales pequeños, pues en un vertedero triangular el tirante resulta ser "muy pequeño".

Los aforos se realizaron durante los meses de octubre y noviembre de 1991, contabilizando un registro de dos veces por semana los cuales se efectuaron para cada día durante una hora, en intervalos de 15 minutos, tomando la hora al azar, en un rango de 7:00 A.M. a 7:00 P.M. de cada día, para así obtener una muestra representativa. Los registros quedan en el anexo 6 al igual que el procesamiento estadístico y gráfico de dichos datos, realizando luego los cálculos de caudal de las aguas residuales, como parámetro de diseño de los componentes de la planta piloto.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

CAPITULO IV

4.0 DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

4.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

A continuación se describen las unidades componentes del sistema de tratamiento, presentadas por orden de secuencia (ver fig. A, anexo 5).

4.1.1 SISTEMA PRELIMINAR

4.1.1.1 Trampa de sólidos o cámara de rejillas

Es la primera operación unitaria del proceso de tratamiento, y consiste en pasar el agua residual a través de rejillas para remover el material de mayor tamaño que afectaría los siguientes procesos; adyacente a la reja y a mayor elevación, se instalará una loseta perforada que funcionará como escurridor, en esta se depositará temporalmente los objetos rastrillados manualmente de la reja para su deshidratación mediante la acción del sol y posteriormente serán depositados en fosas aledañas para su enterramiento.

4.1.1.2 Caja Distribuidora y Medidora de caudales

La función principal es la de derivar el caudal requerido por el sistema de tratamiento y el caudal restante descargarlo directamente hacia el cuerpo receptor.

4.1.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

4.1.2.1 Sedimentador Primario

La función principal es la de retener gran parte de partículas en suspensión que son arrastradas en las aguas residuales, esto se logra mediante el reposo o estancamiento del agua durante periodos de tiempo que generalmente oscilan entre 1.5 y 4.0 hrs.

En este caso el sedimentador recomendado es el de forma rectangular el cual está formado por un fondo en forma de pirámide truncada y superficie expuesta; esta forma, permite que el lodo se concentre en la parte inferior de este y la respectiva evacuación de lodo se realiza por presión hidrostática.

4.1.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

4.1.3.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente (con manto de lodos)

Consistirá en un tubo de PVC de 18" (0.457 mts.) de diámetro colocado verticalmente. En la parte de abajo del tubo principal, se le introducirá el agua residual doméstica por medio de un tubo de PVC de diámetro 2" (0.0508 mt.) el cual tendrá agujeros perforados en forma de flauta para distribuir el caudal por el fondo. La evacuación del agua tratada se hace por medio de un tubo de PVC de diámetro 2", que hace un sifón. Un aspecto muy importante en este tipo de reactores con manto de lodos es la formación de éstos, en este caso se deja abierta la opción de que se realice ya sea con o sin inoculación.

4.1.4 TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO

4.1.4.1 Filtro percolador

En esta unidad, el medio filtrante comúnmente utilizado consiste en material pétreo cuyo tamaño oscila de 5 a 10 cm. de diámetro, su profundidad es variable, pero siempre debe garantizarse la circulación de oxígeno, por lo tanto se recomienda que por cada unidad de filtración el espesor del medio filtrante no exceda de 3.0 mts. y que además, el fondo del filtro, adicional a la función de recolectar el agua percolada, deberá permitir la penetración del aire.

4.1.4.2 Lechos de secado

Su función es la deshidratación de lodos, para esto, los lodos digeridos se descargan y extienden en patios de fondo permeable, el espesor de las capas de lodos en los patios de secado será de 15 a 20 cm. como máximo, para agilizar la deshidratación se recomienda que los patios tengan la superficie expuesta al aire y sol.

El lodo seco, por su alto contenido de nutrientes, después de extraerse de los patios de secados, puede ser usado como fertilizante.

4.2 DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

4.2.1 Consideraciones preliminares

Población servida ciclo 1/92. (Datos obtenidos en Administración Académica de La Facultad de Ing. y Arquitectura, UES.)

# Alumnos registrados	4304
# aprox. personal docente y administrativo	650

total: 4954 hab.

Población servida: 5000 hab.

Dotación (escuelas) : 10 - 30 l.p.d.

Utilizando una dotación de 20 l.p.d.

Factores de demanda (tomado de las Normas técnicas de A.N.D.A)

$Q_{\text{medio diario}} = \# \text{ hab.} * \text{dotación} = 5000 \text{ hab.} * 20$
 $1/\text{hab}/\text{dia} * 1 \text{ dia}/86400 \text{ seg.}$

$Q_{\text{medio diario}} = 1.157 \text{ lt}/\text{seg.}$

$Q_{\text{max. diario}} = 1.2 - 1.5 Q_{\text{medio diario}} = 1.2 * (1.157) \text{ l/s}$

$Q_{\text{max diario}} = 1.388 \text{ lt}/\text{seg.}$

$Q_{\text{max. horario}} = 1.8 - 2.4 Q_{\text{medio diario}} = 1.8 * (1.157) \text{ l/s}$

$Q_{\text{max horario}} = 2.083 \text{ lt}/\text{seg.}$

Considerando que el 80 % del $Q_{\text{max. horario}}$ llega a las alcantarillas:

$$Q_{\text{A.N.}} = 0.80 Q_{\text{max. horario}} = 0.80 * (2.083) \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{A.N.}} = 1.66 \text{ l/s} \quad (Q_{\text{MAX. INSTANTANEO DE DISEÑO PARA A.N.})$$

Caudal calculado de tubería $\theta = 8''$ (medición método volumétrico in-situ)

$$Q = 0.53 \text{ l/seg.}$$

$$\text{Población equivalente} : 1.66 \text{ l/s} - 5000 \text{ hab.}$$

$$0.53 \text{ l/s} - x \text{ hab.}$$

$$x = 1590 \text{ hab.}$$

Población equivalente para $Q = 0.53 \text{ l/s}$: 1600 hab. (32 % de la población)

Caudal requerido para la planta piloto :

Dimensiones del R.A.F.A. :

$$\text{Tubo de P.V.C. } \theta = 18'' \text{ (asumido)}$$

$$\text{Longitud tubo} = 6.0 \text{ mt.}$$

Encontrando el volumen:

$$V = \pi/4 * [(18 * 2.54) / 100]^2 * 6 = 0.985 \text{ mt.}^3$$

Utilizando un tiempo de retención (T_r) de 10 hr. para la puesta en marcha del R.A.F.A. tenemos:

$$Q = V / T_r$$

$$Q = [0.985 \text{ mt.}^3 * (1000 \text{ l/1 m}^3)] / 10 \text{ hr.} * (3600 \text{ s/1 hr.})$$

$$Q = 0.027 \text{ l/s}$$

Entonces el $Q_{vaquerido} = 0.027$ l/s (para la planta piloto)

El caudal restante (0.503 l/s), será descargado directamente a través de la caja distribuidora de caudales, hacia el cuerpo receptor (Arenal de Mejicanos), al cual en el futuro se la deberá de proporcionar algún tipo de tratamiento.

4.2.2 DISEÑO DEL SISTEMA PRELIMINAR

4.2.2.1 Trampa de sólidos (Rejas y Cribas)

Datos :

$$Q_{A.N.} = 0.53 \text{ l/s}$$

$$\theta_{\text{alcantarilla}} = 8''$$

Diámetro de las barras : $\phi_b = 3/8''$ (Ho liso ó corrugado)

Separación de las barras : $S_b = 2.0$ cm. (asumido)

Inclinación de rejas : $\alpha = 45^\circ$

- Cálculo del área de la alcantarilla

$$A_a = \pi/4 * \phi^2$$

$$A_a = \pi/4 * (8 * 2.54)^2 = 324.29 \text{ cm.}^2$$

- Según Babbit, el área sumergida de la superficie de la reja incluyendo barras y huecos debe ser aproximadamente un 200 % del área de la sección transversal de la alcantarilla:
 $A_{aberturas} = 200\% A_a = 2 (324.29 \text{ cm}^2) = 648.58 \text{ cm}^2$

- Longitud de rejillas (L):

$$\text{Haciendo } L = 2 \times \text{alcantarilla} = 2(8 \times 2.54) = 40.64 \text{ cm.}$$

$$L = 40.64 \text{ cm.}$$

- Ancho total de aberturas ($2S_p$):

$$2S_p = \text{Aberturas}/L = 648.58/40.64$$

$$2S_p = 15.96 \text{ cm.}$$

- N \bar{a} de aberturas (N_a):

$$N_a = 2S_p / (\phi_p + S_p) = 15.96 / (3/8 \times 2.54 + 2) = 5.41$$

$$N_a = 6 \text{ aberturas}$$

- N \bar{a} de barras (N_b):

$$N_b = N_a + 1 = 7$$

$$N_b = 7 \text{ barras de } \phi 3/8''$$

- Ancho de Cámara de rejas (B).

$$B = 7 \times (3/8 \times 2.54) + 6 \times 2 = 18.66 \text{ cm.}$$

$$B = 20 \text{ cm.}$$

- Tirante en la Cámara (H):

$$H = L \times \text{sen } \alpha$$

$$H = 40.64 \times \text{sen}(45)^\circ = 28.74 \text{ cm.}$$

$$H = 30 \text{ cm.}$$

$$A = 30 \text{ cm.}$$

4.2.2.2 Caja distribuidora y medidora de caudal

- Vertedero de 90°

Datos: $Q = 0.10 \text{ m}^3/\text{hora} = 2.77 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}$

Fórmula de Thompson:

$$Q = 1.40 * H^{5/2}$$

Donde:

Q : caudal en m^3/seg .

H : Tirante en m .

$$Q = 1.40 * H^{5/2}$$

$$H = (Q/1.40)^{2/5} = (2.77 \times 10^{-5}/1.40)^{2/5} = 0.013 \text{ m.}$$

$$H = 1.30 \text{ cm.}$$

- Cálculo de tuberías

a) Hacia sedimentador

$$Q = 2.77 \times 10^{-5} \text{ mt.}/\text{seg.}$$

$$V_s = 0.60 \text{ mt.}/\text{seg.}$$

$$V_s = \text{Velocidad de sedimentación.}$$

$$A = Q/V_s = 4.63 \times 10^{-5} \text{ mt.}^2 = \pi * \varnothing^2/4 = \varnothing = 0.76 \text{ cm.},$$

usar $\varnothing = 2''$

b) Hacia la descarga:

$$Q = 5.3 \times 10^{-4} \text{ mt.}^3/\text{s}$$

$$V_s = 1.60 \text{ mt.}/\text{seg.}$$

$$A = Q/V_s = 8.37 \times 10^{-4} \text{ mt.}^2 = \pi * \varnothing^2/4$$

$$\varnothing = 3.26''$$

Usar $\varnothing = 4''$

4.2.3 DISEÑO DEL SISTEMA PRIMARIO

4.2.3.1 Sedimentador primario

Datos:

$$Q = 0.53 \text{ lt}/\text{seg.} = 1.9079 \text{ mt.}^3/\text{hr.}$$

$$T = 3 \text{ hr.}$$

$$h_{\text{min.}} = 2 \text{ mt. (Cámara de Sedimentación)}$$

$$V = Q * T = 1.9079 * 3 = 5.8 \text{ mt.}^3$$

- Cálculo del Area : como $V = A * h$

$$A * B = \text{Vol.}/h = 5.8/2 = 2.9 \text{ mt.}^2$$

Teniendo la relación $B = 2*A$

$$\text{Tenemos } A * 2 A = 2.9$$

$$2*(1.2) = 2.40 \text{ mt.}$$

Asumiendo $\theta = 40^\circ$

$$\text{Tg } 40^\circ = h_1 / (2/3 * (B - 0.50))$$

$$h_1 = 2/3 * (2.4 - 0.50) * \text{tg } 40^\circ$$

$$h_1 = 1.0 \text{ mt.}$$

- Encontrando las inclinaciones de las paredes

Con $\theta_1 = \text{asumido } 40^\circ$; $a = 1.2 \text{ mt.}$ y $b = 2.4 \text{ mt.}$

se tiene :

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} (h_1 / (1/3) * (b - 0.50)) = \text{tg}^{-1} (1 / (1/3) * (2.4 - 0.50))$$

$$\theta_2 = 57.65^\circ$$

Luego :

$$\theta_3 = \theta_4 = \text{tg}^{-1} (h_1 / (a - 0.50)) / 2 = \text{tg}^{-1} (1 / (1.2 - 0.5) / 2) = 70.71^\circ$$

$$\theta_3 = \theta_4 \approx 71^\circ$$

- Calculando la velocidad de sedimentación de las partículas
(para plantas pequeñas deberá estar entre 15 y 22 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$)

$$V_{\text{sed.}} = Q/A = 1.9079 (\text{m}^3/\text{hr}) / 2.9 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{sed.}} = 0.66 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr.}$$

Para convertirlo a días

$$V_{\text{sed.}} = 0.66 * 24 = 15.84 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día.} (< 24 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día})$$

Por tanto, cumple ya que se encuentra dentro del rango entre
15 y 22 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

4.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA SECUNDARIO

4.2.4.1 Filtro anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A.)

Datos:

Tubería de P.V.C $\varnothing = 18''$ (0.4572 mt.)

$h = 6.00$ mt.

$Q = 0.53$ lt/s (1.9079 m³/hr) \approx (0.00053 m³/s)

$T = 10$ hr.

- Calculando el volumen para un $\varnothing 18''$

$$V = \pi \varnothing^2 h / 4 = \pi (0.4572)^2 \cdot 6 / 4$$

$$V = 1.0 \text{ mt.}^3$$

- Encontrando el Q necesario para un volumen de 1.0 mt.³

$$Q = V/t = 1 \text{ mt.}^3 / 10 \text{ hr} = 0.10 \text{ mt.}^3 / \text{hr}$$

4.2.5 DISEÑO DE SISTEMA COMPLEMENTARIO.

4.2.5.1 Filtro percolador de baja carga

En el presente diseño se utilizará un modelo matemático establecido de resultados experimentales en la ERIS (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de Guatemala); tal ecuación por aspectos climáticos similares, es aplicable a toda la región Centroamericana.

Fórmula:

$$S/S_0 = e^{-0.1070H/90.7255}$$

Donde:

S: DBO₅ en mg./lt. del efluente

S₀: DBO₅ en mg./lt. del afluente

H: Altura del medio filtrante

q: Carga hidráulica por unidad de superficie en

lt./s./m²

Datos: (obtenidos de ANDA)

S = 40 mg./lt.

S₀ = 250 mg./lt.

H = 2.10 mt. (asumida)

Sustituyendo valores:

$$40/250 = e^{-0.1070 \cdot 2.1/q^{0.7255}}$$

$$-1.833 = -0.2247/q^{0.7255}$$

$$(-1.833) \cdot q^{0.7255} = -0.2247$$

$$q^{0.7255} = -0.2247/-1.833$$

$$\left[q^{0.7255} \right]^{1/0.7255} = \left[-0.2247/-1.833 \right]^{1/0.7255}$$

$$q = 0.554 \text{ l/s/m}^2$$

- Area necesaria de filtro

$$Q_m = 0.0277 \text{ l/s}$$

$$A = Q_m/q = 0.0277/0.0518 = 0.54 \text{ mt.}^2$$

$$A \approx 1 \text{ mt.}^2$$

$$\text{Usar } A = 2 \text{ mt.}^2$$

Utilizando viguetas distribuidoras de caudal $L = 2.0$
mt. (longitud del filtro)

$$\text{Luego, ancho de filtro} = 2/2 = 1 \text{ mt.}$$

Dimensiones:

$$L = 2.0 \text{ mt.}$$

$$\text{Ancho} = 1 \text{ mt.}$$

$$h_{\text{tratante}} = 2.10 \text{ mt.}$$

4.2.5.2 Lechos de secado

Datos:

Carga de diseño = 0.02 mt.²/hab.

Población = 1600 hab.

Area requerida de lechos: A

$$1- A = 0.02 \text{ mt.}^2/\text{hab.} * 1600 \text{ hab.} = 32 \text{ mt.}^2$$

2- Longitud (L) y Ancho (B)

$$A = 3*L$$

$$B = 2*L$$

$$\text{Area} = A*B = 3*L * 2*L = 6*L^2 = 32 \text{ mt.}^2$$

$$L = \sqrt{32/6} = 2.3 \text{ mt.}$$

Luego:

Ancho de cada era = 2.30mt.

Ancho total del lecho = 3 * 2.30 = 6.9 mt.

Longitud total del lecho = 2 * 2.30 = 4.60 mt.

3- Profundidad

Para el cálculo de la profundidad, se mantiene el criterio de vaciar capas de 20 cm. de espesor de lodos y dejar un borde libre mínimo de 30 cm., por lo tanto la altura será la siguiente:

$$h = 20 \text{ cm. (capa de lodos)} + 30 \text{ cm. (borde libre)}$$

$$h = 50 \text{ cm.}$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El presente estudio consistió en el diseño de un sistema no mecanizado de tratamiento de aguas residuales, utilizando un RAFA como sistema secundario de la planta piloto, y se elaboró a nivel experimental, considerando las condiciones del medio circundante como el caudal, topografía del terreno, tipo de suelo, uso y calidad del agua, etc. Tuvimos la dificultad para la realización de los análisis del laboratorio que nos permitieran determinar las características físicas, químicas y biológicas (entre ellas las más importantes ensayos de DBO_{5-20} , DQO, sólidos, etc.) que en última instancia definen el patrón de diseño y características de los componentes de la planta piloto. Debido a esto, se adoptaron datos históricos standard (ejemplo DBO_{5-20} , aporte de lodos, etc.) basados en la experiencia de operación de otras plantas de tratamiento, y de esta manera se efectuó el diseño de dichos componentes.

El factor que determina el tipo de sistema de tratamiento es la disponibilidad de recursos y factibilidad de construcción de acuerdo a la tecnología disponible en el medio; es por esto que en nuestro país se deberían de adoptar sistemas de tratamiento no mecanizado, de operación

sencilla, bajo costo, y facilidad de construcción con materiales locales y personal del lugar, sin descuidar las características ambientales y calidad y uso del recurso hídrico. El estudio que presentamos trata de englobar todos estos aspectos, consecuentemente los requeridos por ANDA en lo que respecta al tratamiento de las aguas servidas, proponiendo un sistema no mecanizado combinado (anaerobio y aerobio) que demandan poca área en comparación con plantas convencionales y cuyos costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos ya que se reduce a labores sencillas que fácilmente pueden ser desarrolladas inclusive por personal no calificado con capacitación básica; además de la importancia del proceso biológico y las operaciones físicas se obtiene una mayor estabilización de la materia orgánica contaminante y su eficiencia proporciona una calidad de agua que disminuye las condiciones y riesgos de deterioro de nuestro ecosistema.

La experiencia en el funcionamiento de los RAFA que es una tecnología nueva desarrollada en Holanda (LETTINGA, 1979), asegura un alto rendimiento en la remoción de carga orgánica con altas concentraciones de DBO y DQO, así como la eliminación de malos olores y recuperación del gas metano el cual puede ser reutilizado para generar calefacción, energía eléctrica, fuerza motriz, etc. No así su remoción de patógenos es baja (60-89% de remoción de organismos coliformes) debido a su reducido período de retención (4-10 hrs.) por lo cual no se puede concebir como estructura única

para el tratamiento, auxiliándose el sistema de otros componentes que contrarresten la cantidad excesiva de materias orgánicas e inorgánicas (rejillas y sedimentadores) y permitan realizar un proceso de oxigenación (filtros percoladores) para el desarrollo de bacterias aerobias encargadas en una segunda etapa de estabilizar la materia orgánica y remoción de patógenos, hasta finalmente almacenar la materia estabilizada (lechos de secados) ricas en nutrientes biológicos tales como el fósforo y nitrógeno que pueden ser utilizados como fertilizantes.

La combinación de una unidad de proceso anaerobio (RAFA) y proceso aerobio (filtro percolador) genera resultados satisfactorios en el tratamiento, por lo cual se incorporó al sistema y aprovechando la topografía del terreno, un filtro percolador para aireación u oxigenación como complemento del proceso anaerobio.

La planta con un RAFA es una alternativa para nuestra época que debería considerarse e implementarse en el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales de nuestro medio, a fin de garantizar la vida de nuestros Recursos Naturales y por ende de la población.

El progreso de una región esta en función de la calidad de vida de sus habitantes, en consecuencia de los recursos naturales disponibles; preservarlos es nuestra obligación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la aplicación y control del sistema de tratamiento de aguas residuales es necesario conocer: tipo, calidad y composición del efluente mediante análisis físico-químico y biológicos, para ello se deberán recolectar muestras a la entrada y salida del reactor, las cuales deberán ser analizadas en un laboratorio, determinandose la remoción de sólidos, DBO, DQO, PH, T°, contenido de materias tóxicas, etc. para así evaluar el rendimiento y eficiencia del tratamiento en cuanto a remoción y estabilización de la materia orgánica.

- Se debería implementar y experimentar con unidades como las estudiadas, de modo que se cuente con registros para condiciones variadas de funcionamiento, tales como temperatura en diferentes épocas del año, carga volumétrica de DBO y DQO, remoción de sólidos y tiempo de retención así como dar seguimiento, mantenimiento y control a cada uno de los componentes dentro de los rangos de operación, generando así información valiosa para futuros estudios que permitan la expansión y modernización de las plantas de tratamiento.

- Para la puesta en marcha del reactor, se recomienda inocularlo con algún lodo proveniente de alguna otra planta de tratamiento, o en su defecto alguna fosa séptica o letrina, con el objeto de acelerar el desarrollo del cultivo de bacterias anaerobias

- El período razonable de maduración de un RAFA que arranca sin inoculación biológica es de 3 a 10 meses, para lo cual se propone utilizar inicialmente un tiempo de retención de 24 horas que podrá disminuirse gradualmente hasta alcanzar un rango de 4-10 horas, esto con el objeto de formar y estabilizar progresivamente el cultivo biológico de las bacterias anaerobias encargadas de la degradación de la materia orgánica contaminante.

- En el caso de inocular el RAFA, la altura del manto de lodos deberá ser de 2 a 3 mts. para evitar la velocidad de arrastre de las bacterias anaerobias que podrían salir del reactor, disminuyendo por consiguiente su eficiencia. Además deberá existir una buena mezcla entre lodo inoculado y agua residual que proporcione una mejor distribución del cultivo biológico.

- El afluente derivado del sistema preliminar no deberá contener más del 40% de materias sólidas expresadas como DQO.

- Deberá tenerse cuidado de no arrojar compuestos o soluciones tóxicas al sistema de alcantarillado que puedan dañar y alterar el proceso biológico del RAFA.

- Evaluar de ser posible la factibilidad y rentabilidad de utilizar el gas metano como fuente de energía eléctrica, calorífica o motriz.
- Debido a que no hay remoción de nitrógeno y fósforo, el efluente podría ser reutilizado para irrigación previa desinfección, así como el lodo obtenido de los lechos de secado podría usarse como fertilizante. La combinación de estos dos procesos, seguidos a través de minuciosos análisis de laboratorio crearía las condiciones apropiadas para desarrollar un campo experimental de cultivos que podría ser implementado aprovechando el reciclaje de las aguas residuales de la planta de tratamiento.
- Para el caso de la zona proyectada para la construcción de la planta piloto, se deberán construir obras complementarias y de protección según lo requerido, tales como muros de retención para contener la erosión del suelo, taludes, accesos para la inspección de cada uno de los componentes de la planta, reforestación para preservar el ecosistema de la zona, etc.
- Para la continuación de este estudio se recomienda comenzar por la determinación de la calidad del agua a tratar y compararlo con los datos adoptados para el presente estudio. Luego deberá de procederse a elaborar el presupuesto, especificaciones técnicas y propuesta del programa de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1- TRATAMIENTO DE AGUAS CLOACALES EN LA CIUDAD DE NUEVA
OCOTEPEQUE (HONDURAS)

Raúl Mendizabal Suárez

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1965.

2- TECNOLOGIA APROPIADA PARA SISTEMAS NO MECANIZADOS EN
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS
COMUNIDADES

Leonidas Ernesto García Aguilar

Trabajo de Graduación

Universidad de El Salvador, 1991.

3- ANALISIS COMPARATIVO DE DIVERSAS OBRAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES

Mauricio Rauda Salazar

Trabajo de Graduación

Universidad de El Salvador, 1967.

4- TRATAMIENTO Y DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES

Metcalf and Eddy

Editorial Labor S.A.

Barcelona, 1981.

5- REVISTA ACODAL

ORGANO OFICIAL DE LA ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA
SANITARIA Y AMBIENTAL

Sección Colombiana de AIDIS

Bogotá, Colombia,

marzo-abril 1985, Num. 123.

6- CURSO SOBRE DISEÑO SIMPLIFICADO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES

Ing. Antonio Carlos Rossin

San Salvador, junio 1984.

7- EVALUACION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
NO MECANIZADO

Gustavo Adolfo Franco

Trabajo de Graduación

Universidad Albert Einstein

ANEXOS

ANEXO 1

ENFERMEDAD	TOTAL						TOTAL ANO 1989	TOTAL ANO 1-21-88
	ANO 1-17/89	SEM. 18	SEM. 19	SEM. 20	SEM. 21	SEM. 22		
<u>Paludismo</u>	1882	118	136	173	132	134	2575	2920
Sifilis (1+2+3+4)	965	60	40	59	54	44	1222	1884
1-Sifilis congenita	26	1	3	3	7	3	43	67
2-Sif.adq.precoz sint.(a+b)	633	43	21	42	32	34	805	824
a-Sifilis primaria	489	30	16	30	26	28	619	648
b-Sifilis secundaria	144	13	5	12	6	6	186	176
3-Sifilis adq.prec.latente	208	9	4	5	8	2	236	285
4-Otras formas de sif.adquir	98	7	12	9	7	5	138	708
Inf.gonoc.aguda del apar.g.u	2061	109	78	89	121	104	2562	3171
Otras Infecciones gonococica	489	59	28	27	42	58	703	622
Tricomoniiasis vaginal	4616	183	219	403	292	195	5908	3515
Herpes genital	282	30	25	14	25	10	386	294
Chancro blando	656	28	25	37	39	30	815	1079
Linfogranuloma venereo	100	6	12	13	2	5	138	247
Sindr.de inmunod.adq.(SIDA)	0	0	0	0	0	0	0	10
Influenza o Gripe	52638	2345	2414	2992	3179	2410	65978	55170
Tuberculosis pulmonar	368	0	0	0	0	114	482	859
<u>Efectos toxic.por plaguicidas</u>								
clorados y otros plaguicidas	259	12	24	25	37	18	375	378

Cifras provisionales

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION GENERAL DE SALUD, UNIDAD DE EPIDEMIOLOGIA
EL SALVADOR,C.A.

ENFERMEDADES TRANSMISIBLES NOTIFICADAS POR REGIONES DE SALUD EN EL MES
DE MAYO DE 1989, EL SALVADOR

REGIONES DE SALUD	SARAMPION	RUBEO LA	PAROTIDITIS EPIDEMICA	TOS FERINA	VARI CELA	DEN GUE	HEPA TITIS INFECCIOSA	SIFIL PRIM. MAS SIFIL SECUN DARIA	GONO RREA	FIE BRE TIFOIDEA	DIA RREAS	TU BER CU LDIS	INFL. O GRIPE
URBANA	876	17	17	-	258	5	25	30	40	18	3033	62	1087
RURAL	445	17	21	-	215	2	24	17	27	34	1804	11	979
URBANA	818	138	83	-	717	2	69	57	181	80	3395	5	6069
RURAL	400	33	43	4	229	2	12	11	55	31	1680	7	972
URBANA	237	32	25	1	197	5	21	29	68	9	1667	29	1700
RURAL	91	27	33	-	230	14	11	28	130	80	5203	5	2533
TOTAL MAYO/89	2867	264	222	5	1846	30	162	172	501	252	16782	114	13340
TOTAL ACUM/89	12703	729	886	17	7259	247	659	805	2562	1147	58288	482	65978
TOTAL ACUM/88	314	539	799	16	3364	833	775	824	3171	993	65517	859	55170

PORCENTAJE DE SERVICIOS DE SALUD QUE INFORMARON
EN EL MES DE MAYO, EL SALVADOR 1989

TOTAL SERVICIOS DE SALUD	% DE SERVIC. DE SAL. QUE NO INFORM.	% DE SERVIC. DE SALUD CERRADOS	% DE SEMANAS QUE NO INFORMARON	% DE SERVIC. DE SALUD QUE INFORMARON
409*	0	4.4	5.1	95.5

* Incluye 35 Consultorios del ISSS, Consultorios de CESAD, Hospital Militar y Batallon de Sanidad Militar.

El Salvador, Julio de 1989

Unidad de Epidemiologia.

ANEXO 2

DIARIO OFICIAL

Director: JOSE OSCAR BRICEÑO

TOMO Nº 297 | San Salvador, Viernes 16 de Octubre de 1987 | NUMERO 191

SUMARIO

ORGANO LEGISLATIVO

	Página
Decreto Nº 700.—Modificaciones de la Ley de Presupuesto en la parte que corresponde al Ramo de Salud Pública y Asistencia Social (Instituto Salvadoreño de Rehabilitación de Inválidos).	1
Decreto Nº 783.—Adición de incisos al Art. 94 del Código Municipal.	2 <i>x</i>

ORGANO EJECUTIVO

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

Decreto Nº 60.—Estatuto sobre la calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección.	3
--	---

ORGANO LEGISLATIVO

DECRETO Nº 790.

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR,

en uso de sus facultades constitucionales y a propuesta del CONSEJO DE MINISTROS,

DECRETA:

Art. 1.—En la LEY DE PRESUPUESTO se introducen las modificaciones siguientes:

A) En la Sección A) PRESUPUESTO GENERAL, Apartado III - EGRESOS, RAMO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL, se refuerza la asignación que adelante se detalla, con la cantidad que en seguida se indica:

87-500-10-201-24-201-179

Instituto Salvadoreño de Rehabilitación de Inválidos 750.000

La cantidad de SETECIENTOS CINCUENTA MIL COLONES (C 750.000.00), a que asciende el refuerzo que antecede, se tomará de la asignación 87-200-44-501-41-502-009 Administración de la Deuda de Ejercicios Anteriores, correspondiente al RAMO DE HACIENDA.

B) En la Sección B) PRESUPUESTOS ESPECIALES, en la parte que se refiere al INSTITUTO SALVADOREÑO DE REHABILITACION DE INVALIDOS, aumentase la fuente específica de ingreso y la asignación que se señala, con la cantidad que se menciona, así:

17— INSTITUTO SALVADOREÑO DE REHABILITACION DE INVALIDOS

ngresos

62 Subvenciones del Gobierno Central. 750.000

Egresos

87-517-13-101-24-101-009 Administración Superior					750.000
0-b)	1	2	3	9	TOTAL
009 ...	266,760	109,340	65,000	248,900	60,000 750.000

Art. 2.—El presente Decreto entrará en vigencia a partir del día de su publicación en el Diario Oficial.

DADO EN EL SALON AZUL DEL PALACIO LEGISLATIVO: San Salvador, a los nueve días del mes de octubre de mil novecientos ochenta y siete

Guillermo Antonio Guevara Lacayo,
Presidente.

Alfonso Aristides Alvarenga,
Vicepresidente.

Hugo Roberto Carrillo Corleto,
Vicepresidente.

Macla Judith Romero de Torres,
Secretario.

Pedro Alberto Hernández Portillo,
Secretario.

José Humberto Posada Sánchez,
Secretario.

Rafael Morán Castaneda,
Secretario.

Rubén Orellana Mendoza,
Secretario.

CASA PRESIDENCIAL: San Salvador, a los dieciséis días del mes de octubre de mil novecientos ochenta y siete.

PUBLIQUESE.

RODOLFO ANTONIO CASTILLO CLARAMOUNT,
Vicepresidente de la República,
Encargado del Despacho Presidencial.

Ricardo J. López,
Ministro de Hacienda.

DECRETO Nº 793.

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR,

CONSIDERANDO:

I.—Que por Decreto Legislativo Nº 274, de 31 de enero de 1986, publicado en el Diario Oficial Nº 23, Tomo 290 de 5 de febrero del mismo año, se decretó el Código Municipal, para desarrollar los principios generales sobre la organización, funcionamiento y ejercicio de las facultades autónomas de los Municipios;

II.—Que en la práctica se ha comprobado que algunas disposiciones del expresado Código obstaculan el manejo de los fondos municipales y no han tenido el efecto esperado, para alcanzar una administración municipal eficaz, acorde con los planes de desarrollo del país y la autonomía municipal que consagra la Constitución, por lo que se hace necesario y conveniente introducir algunas modificaciones a dicho Código;

POR TANTO,

en uso de sus facultades constitucionales y a iniciativa del Diputado Rafael Morán Castañeda,

DECRETA:

Art. 1.—Adiciónanse al Art. 84 del Código Municipal, promulgado por Decreto Legislativo Nº 274, de 31 de enero de 1986, publicado en el Diario Oficial Nº 23, Tomo 290 de 5 de febrero del mismo año, los incisos cuarto y quinto, así:

"No obstante lo dispuesto en los incisos anteriores, cualquier Corporación Municipal podrá encargarse de la realización de las obras, trabajos o la prestación de servicios municipales, a que se refiere el presente artículo, a cualquiera de los Organismos del Estado, ya sea del Gobierno Central o de Instituciones Oficiales Autónomas, a los cuales proporcionará los planos, presupuestos y especificaciones correspondientes. Si los expresados Organismos aceptaren la ejecución de la obra o prestación del servicio de que se trate, queda facultada la Municipalidad Intere-

sada para celebrar sin más trámite y por medio del Alcalde o el funcionario que ésta autorice, el respectivo contrato con el representante autorizado del correspondiente Organismo. En este caso no será necesaria la rendición de fianzas, ni de ninguna otra clase de garantías.

También podrá el Concejo, si lo juzga conveniente, autorizar para que se realicen las obras y trabajos o se presten los servicios por el sistema de administración a cargo del mismo Concejo, pero sólo en el caso de que no se presentaren ofertas en la tercera licitación o cuando, los estudios de factibilidad, planos y presupuestos hayan sido elaborados por la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura, y la ejecución de tales obras o trabajos, o prestación de servicios, sea dirigida y supervisada por esa Dirección General, con la vigilancia del Ministerio del Interior".

Art. 2.—El presente Decreto entrará en vigencia ocho días después de su publicación en el Diario Oficial.

DADO EN EL SALON AZUL DEL PALACIO LEGISLATIVO: San Salvador, a los nueve días del mes de octubre de mil novecientos ochenta y siete.

Guillermo Antonio Guevara Lacayo,
Presidente.

Alfonso Aristides Alvarenga,
Vicepresidente.

Hugo Roberto Carrillo Corleto,
Vicepresidente.

Macia Judith Romero de Torres,
Secretario.

Pedro Alberto Hernández Portillo,
Secretario.

José Humberto Posada Sánchez,
Secretario.

Rafael Morán Castañeda,
Secretario.

Rubén Orellana Mendoza,
Secretario.

CASA PRESIDENCIAL: San Salvador, a los dieciséis días del mes de octubre de mil novecientos ochenta y siete.

PUBLIQUESE.

Rodolfo Antonio Castillo Claramount,
Vicepresidente de la República,
Encargado del Despacho Presidencial.

Juho Alfredo Samayor B.,
Ministro de Justicia.

ORGANO EJECUTIVO

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

DECRETO Nº 50.

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR,

CONSIDERANDO:

I.—Que siendo la salud de los habitantes un bien público reconocido por la Constitución de la República, deben dictarse normas reglamentarias que eviten, controlen o reduzcan la contaminación de los recursos hídricos.

II.—Que es misión del Estado mantener las mejores condiciones de calidad de los recursos hídricos de manera compatible con una política económica adecuada que aproveche, en lo posible, las condiciones de los medios receptores como agentes en los procesos de transporte y autodepuración de residuos.

III.—Que la Ley sobre Gestión Integrada de los Recursos Hídricos promulgada por Decreto-Ley Nº 386 de la Junta Revolucionaria de Gobierno, de fecha 2 de diciembre de 1981, publicada en el Diario Oficial Nº 221, Tomo 273, de aquella misma fecha, y su Reglamento de fecha 23 de marzo de 1982, establecen en sus disposiciones la potestad del Ministerio de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social, en coordinación con los otros Ramos, y en este caso con los de Agricultura y Ganadería, de Salud Pública y Asistencia Social y el de Obras Públicas, todo lo relativo en cuanto a "elaborar Proyectos de normas sobre calidad del agua y sobre el control de los vertidos de aguas negras, desechos fabriles, industriales, mineros y cualquier otro uso activo o pasivo del agua que pueda contaminar dicho recurso"; disposición que armoniza con lo que disponen los Artículos 100 y 101 de la Ley de Riego y Avenamiento para dictar un Reglamento en tal sentido;

POR TANTO:

En uso de sus facultades constitucionales, DECRETA, el siguiente

REGLAMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA,
EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS
ZONAS DE PROTECCION

TITULO I

Disposiciones Fundamentales

Art. 1.—El presente Reglamento tiene por objeto desarrollar los principios contenidos en la Ley Sobre Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y su Reglamento, así como los Artículos 100 y 101 de la Ley de Riego y Avenamiento, referente a la calidad del agua, el control de vertidos y a las zonas de protección con el objeto de evitar, controlar o reducir la contaminación de los recursos hídricos.

Art. 2.—Los términos y conceptos empleados en este Reglamento se entenderán en el sentido o significado que se les dé en el glosario de conceptos técnicos que forma parte del mismo, en cuyo texto se usarán las siglas que a continuación se indican con el significado siguiente:

1. MIPLAN: Ministerio de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social;
2. MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería;
3. MSPAS: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social;
4. ANDA: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados;
5. PLANSABAR: Plan Nacional de Saneamiento Básico Rural;
6. OEDA: Oficina Especializada del Agua;
7. AEE: Agencias Ejecutoras Especializadas; y
8. MOP: Ministerio de Obras Públicas.

Art. 3.—El Estado, a través de los mecanismos establecidos en el presente Reglamento y de la autoridad competente, tomará las medidas adecuadas y oportunas para regular las actividades que lleguen a producir contaminación de las aguas, a fin de armonizar el aprovechamiento racional e integral de los recursos hídricos con la protección de la calidad de los mismos.

El MIPLAN, en coordinación con los demás Ministerios involucrados, tomará las medidas y las acciones que permitan obtener, de acuerdo con lo que indique este Reglamento, un control efectivo sobre la calidad de los recursos hídricos.

Art. 4.—El Organismo Ejecutivo en los Ramos de Planificación, Salud Pública y Asistencia Social, de Agricultura y Ganadería y de Obras Públicas podrá establecer regulaciones especialmente sobre:

- a.—Los procesos industriales cuyos efluentes, no obstante el tratamiento a que puedan ser sometidos, hayan de constituir un peligro de contaminación;
- b.—La fabricación, importación, comercio y utilización de productos que constituyan una amenaza para la calidad del agua, tales como fertilizantes, pesticidas, y productos químicos y bioquímicos, según las leyes sobre la materia;
- c.—Las actividades que afecten la zona de protección de los cauces, los cauces mismos y las captaciones de agua; ;
- d.—Las demás que se consideren necesarias a los fines del presente Reglamento.

Art. 5.—Para los fines de este Reglamento se establecen como objetivos de calidad los niveles físicos y biológicos necesarios para mantener, preservar o recuperar la calidad del recurso hídrico, de manera que no se interfiera con el uso previsto en los Planes Nacionales de desarrollo, aprovechamiento o protección de los recursos hídricos.

Art. 6.—La especificación de los objetivos de calidad la clasificación y reclasificación de las aguas se hará por resolución ministerial conjunta, en los Ramos de MIPLAN, MAG, MOP y MSPAS.

Art. 7.—Las condiciones a que deben sujetarse los vertidos de aguas residuales contaminantes se establecerán de manera que se conserven los objetivos de calidad previamente establecidos, tomando en consideración el destino volumen, caudal, calidad y poder de autodepuración, tanto del vertido como del cuerpo de agua receptor.

Art. 8.—Cuando no exista un objetivo de calidad, los interesados en efectuar un vertido podrán solicitar a cualquiera de las AEE su fijación, de manera que se especifiquen las condiciones bajo las cuales se les permita efectuarlo. El procedimiento para la fijación del objetivo de calidad será el referido en el Artículo 6.

TITULO II

De la Autoridad Competente

Art. 9.—En todo lo que se refiere o relacione con la aplicación de las normas sobre calidad del agua a nivel nacional, la Autoridad Competente será el Organismo Ejecutivo en los Ramos de Salud Pública y Asistencia Social, el de Agricultura y Ganadería y el de Obras Públicas, bajo los términos de este Reglamento y los de su propia legislación en materia de contaminación de aguas de acuerdo con las normas y procedimientos que adelante se establecen. Cuando se trate de aplicación de sanciones por infracción al presente Reglamento, se harán por medio del Departamento Jurídico del Ministerio de Agricultura y Ganadería, de acuerdo con lo establecido en el Capítulo IX de la Ley de Riego y Avenamiento y al Artículo 138 de su Reglamento.

Art. 10.—Las AEE y las instituciones públicas centralizadas y descentralizadas a que se refiere el Artículo 2 del Reglamento de la Ley Sobre Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, están obligadas a prestar toda la colaboración técnica necesaria para que la Autoridad Competente desempeñe su labor en forma eficiente y, más especialmente, aquellas AEE directamente involucradas con atribuciones específicas en este Reglamento.

La OEDA servirá de organismo técnico consultor del Comité Ejecutivo a que se refiere el artículo siguiente. Los particulares afectados por alguna resolución de la Autoridad Competente, en relación a sus solicitudes, podrán recurrir de ella en la forma que establece la Ley de Riego y Avenamiento.

Art. 11.—Para los fines de coordinar y asesorar lo relativo a solicitudes de vertidos obras de tratamiento para depuración y todo lo relativo al presente Reglamento, se crea una Oficina Conjunta Protectora de los Recursos Hídricos ("Oficina Conjunta"), la cual estará dirigida por un Comité Ejecutivo, integrado por un representante del Departamento Jurídico y un técnico de los Ministerios de Agricultura y Ganadería, de Salud Pública y Asistencia Social, de Obras Públicas, del Interior y además de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Dichos representantes serán nombrados por los titulares de los organismos correspondientes, ante el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, y elaborarán de común acuerdo un Reglamento Interno que regule el funcionamiento de la Oficina Conjunta. Este Reglamento será puesto en vigencia en un plazo de 30 días subsiguientes a la fecha de creación de la Oficina Conjunta.

Art. 12.—La Oficina Conjunta deberá ser creada dentro del plazo de 12 meses subsiguientes a la fecha de vigencia del presente Reglamento y su sede estará adscrita al MSPAS, quien facilitará la infraestructura administrativa ne-

cesarla y el personal técnico y de apoyo que el Comité Ejecutivo de la Oficina Conjunta estime conveniente.

Art. 13.—Cuando el estado de la calidad del agua afecte o pueda afectar la salud pública o aspectos relativos al saneamiento, incluyendo vertidos industriales, cloacales descargas urbanas y demás, será el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social por medio de su dependencia ejecutiva correspondiente, quien se encargará de velar por el cumplimiento de las normas de calidad fijadas para cada caso.

Art. 14.—El Ministerio de Agricultura y Ganadería en cumplimiento del Artículo 101 de la Ley de Riego y Avenamiento, dictará las medidas necesarias para:

- a.—Impedir que se contaminen las aguas;
- b.—Impedir que el uso de aguas reduzca la fertilidad de los suelos, y
- c.—Proteger la fauna y flora acuática.

Art. 15.—Cuando se trate de vertidos que puedan perturbar el equilibrio físico, químico, biológico y ecológico de las aguas, será el Ministerio de Agricultura y Ganadería, por medio de su dependencia ejecutiva, quien se encargará de velar por el cumplimiento de las normas de calidad fijadas para cada caso.

Sin perjuicio de lo dispuesto en el Artículo 11, el MAG y el MSPAS podrán actuar en forma conjunta cuando lo requiera uno de estos Ministerios.

Art. 16.—Cuando se trate de descargas de aguas negras o vertidos industriales, el MSPAS deberá establecer sistemas de vigilancia y control para que se cumplan las condiciones fijadas en cada caso. El MAG, por su parte, establecerá sus propios mecanismos de vigilancia y control dentro de su competencia. Ambos Ministerios podrán presentarse mutua colaboración técnica cuando sea requerida.

Art. 17.—Cuando se trate de vertidos que descargan al sistema de alcantarillado sanitario, sistema de conducción de aguas residuales, obras de tratamiento y disposición final de las mismas, de propiedad de ANDA, será esta Institución la que aplicará sus propias normas y regulaciones para asegurar la protección y buen funcionamiento de dichas obras.

ANDA establecerá las condiciones que deben cumplir las aguas residuales domésticas o industriales, previo a la autorización del vertido en las obras sanitarias anteriormente mencionadas.

Art. 18.—Tanto el MAG como el MSPAS y ANDA deberán notificar a las alcaldías correspondientes las decisiones que se tomen sobre el control de la contaminación de las aguas que se ubiquen dentro de sus respectivas jurisdicciones. Dicha notificación se hará por medio de esquila que contenga un extracto de la solicitud y resolución correspondiente a fin de que se controle y vigile su cumplimiento, y denuncie las infracciones ante la Autoridad Competente.

TITULO III

Autorización de Vertidos

Art. 19.—Ninguna descarga de residuos sólidos, líquidos o gaseosos a los diferentes medios acuáticos, alcantarillado sanitario y obras de tratamiento podrá ser efectuada sin la previa autorización de la Autoridad Competente.

Art. 20.—La autorización a que se refiere el artículo anterior, se solicitará por los interesados a la Autoridad Competente en papel sellado del valor correspondiente según modelo que se proporcionará. La solicitud deberá contener:

1. Nombre, profesión y oficio, domicilio y nacionalidad del solicitante; y si se tratare de personas jurídicas, deberá comparecer su representante legal, quien además de acreditar su personería deberá acreditar la de la empresa que representa;
2. Nombre del medio acuático y localización cartográfica del punto en que se pretenda efectuar o se está efectuando el vertido; anexando plano o croquis de su ubicación;
3. La información sobre caudales y volúmenes del vertido, periodos estimados de descarga y duración de los mismos.
4. Características del vertido que se está efectuando o se pretende efectuar, adjuntando plano a escala que detalle la forma cómo se realiza o se realizará dicho vertido;
5. Descripción de:
 - a.—Las obras físicas de depuración que se pretenden construir o se hayan construido;
 - b.—El tratamiento al que se propone someter el vertido o que ya se está tratando;
6. Análisis físico-químico y biológico de los componentes del vertido en el sitio y las condiciones que indique la Autoridad competente en los casos donde se esté efectuando la descarga.

En los casos en que no se esté efectuando, se deberá adjuntar un análisis comparativo según otras industrias similares, a reserva de que posteriormente presente el análisis de su propio vertido.

Art. 21.—A las solicitudes que reúnan los requisitos señalados se les abrirá un expediente y serán registradas en libros especiales en los que se anotará: el número del expediente, el nombre del solicitante, y la fecha y hora de presentación. Caso contrario se prevendrá a los interesados para que las corrijan o completen.

Art. 22.—La Oficina Conjunta llevará un Registro Central de las solicitudes presentadas a la Autoridad Competente y deberá contener:

- a.—Nombre del solicitante;
- b.—Fecha de recepción de la solicitud;
- c.—Número del expediente; y
- d.—Clase de resolución que se ha proveído.

Art. 23.—Las solicitudes de autorización de descarga deberán ser analizadas técnicamente, comparabilizándolas con los objetivos de calidad establecidos, la Autoridad Competente analizará las posibilidades en que tal uso sea compatible y no afecte las diferentes utilidades del medio receptor.

Art. 24.—Recibida y registrada la solicitud, se practicará la inspección de las instalaciones y el lugar del vertido, y se tomarán las muestras necesarias para los análisis correspondientes.

Si durante la inspección se detectaren anomalías que impidan la verificación por el de los inspectores, o si fuere necesaria una ampliación de la información que se tiene, se notificarán estas circunstancias al interesado, para que las corrija o amplíe, en su caso, dentro del plazo que se le señale.

Art. 25.—Verificada la inspección, realizados los análisis de laboratorio y emitido el dictamen técnico por las AEE correspondientes, estas deberán emitir una resolución previa consulta con la Oficina Conjunta, en la cual las AEE condicionarán, autorizarán provisionalmente o denegarán el vertido.

Art. 26.—Si la resolución determina que el vertido solicitado es aceptable, mediante determinadas condiciones, la Autoridad Competente por medio de la Oficina Conjunta, las comunicará al solicitante para la aceptación o rechazo de las condiciones impuestas.

Si tales condiciones fueren aceptadas por el solicitante, éste las deberá cumplir dentro del plazo que se le fije, para que se le autorice provisionalmente el vertido. Si no las acepta, se estará a lo dispuesto en los Arts. 10 inciso 2º de este Reglamento.

Art. 27.—Si la resolución fuere favorable o condicionada, se autorizará provisionalmente el vertido. Dicha autorización se convertirá en definitiva tres años después, contados a partir de la fecha de la autorización provisional, previa comprobación del cumplimiento de las condiciones fijadas por la Autoridad Competente.

Art. 28.—Si en la resolución se determinare que el vertido solicitado es incompatible con los objetivos de calidad o con los restantes usos del medio receptor, la Autoridad Competente denegará la solicitud y la notificará al interesado, por medio de la Oficina Conjunta.

Art. 29.—La Autoridad Competente deberá emitir resolución a más tardar dentro de 30 días hábiles después de presentada la solicitud. Si el interesado no estuviese de acuerdo con la resolución emitida podrá recurrir en la forma que establece la Ley de Riego y Avenamiento.

Art. 30.—Las autorizaciones de los vertidos obligan al usuario a sujetarse a las normas prescritas, bajo pena de declarar revocada la autorización por daño previsible. Asimismo, está obligado a dar aviso por escrito a la Autoridad Competente dentro de un plazo de treinta días antes de:

- a.—No continuar efectuando el vertido;
- b.—Modificar el proceso productivo que pueda repercutir en alteración del vertido; y
- c.—Modificar el proceso depurativo.

En el caso de los literales "b" y "c" anteriores, el responsable de la descarga está obligado a proporcionar a la Autoridad Competente, en el plazo que se le fije, toda la información necesaria para detallar las variaciones y repercusiones de la alteración o modificación, según el caso todo bajo pena de revocar la autorización respectiva.

Art. 31.—Las autorizaciones de vertidos tendrán vigencia por el plazo que se especifique en la resolución correspondiente.

Art. 32.—La Autoridad Competente notificará sus resoluciones a la Oficina Conjunta para su inscripción en los registros correspondientes, dentro de los quince días siguientes a la fecha de aprobación.

Art. 33.—En aquellos casos en los que un solo usuario sea responsable de dos o más descargas, la Autoridad Competente llevará sólo un expediente en el que constará en detalle todo lo relativo a cada vertido.

Art. 34.—Las autorizaciones de vertidos amparan a su titular frente a terceros.

TITULO IV

NORMAS SOBRE DEPURACION Y TRATAMIENTO DE AGUAS

Art. 35. Solamente se podrán efectuar descargas de residuos sólidos, líquidos o gaseosos, cuando de conformidad a los objetivos de calidad no se perjudiquen las condiciones físico-químicas biológicas del medio acuático receptor.

Art. 36. Cuando las condiciones impuestas en una autorización de vertido impliquen la operación de un sistema de tratamiento, el usuario estará obligado a controlar los efluentes en la forma que establezca la Autoridad Competente y conservar esta información en un registro que podrá ser inspeccionado por la misma, cuando el flujo regular. La Autoridad Competente podrá realizar también los análisis que sean necesarios.

Art. 37. Los procesos de depuración o tratamiento a que estarán sujetos los vertidos en general, deberán ser los técnicamente necesarios para lograr los objetivos de calidad, tal como se establece en el Art. 5.

Art. 38. Para la determinación del tratamiento a que se deberá someter un vertido, se fijarán las condiciones particulares para cada descarga. Estas condiciones se fundamentarán en los niveles de calidad que se establecerán en la forma prevista en el Art. 6 de este Reglamento.

Art. 39. Los responsables de las descargas de aguas residuales industriales que a la fecha de vigencia del presente Reglamento se encuentren efectuando el vertido, deberán presentar dentro del plazo de seis meses su solicitud a la Autoridad competente para obtener la autorización de vertido.

Art. 40. Los métodos de muestreo y análisis de laboratorio para comprobar que los responsables de las descargas se ajustarán a las normas que se refiere el Art. 38 de este Reglamento según los métodos estándares universales, adoptados oficialmente por los laboratorios nacionales de país.

Art. 41. Se podrán combinar los vertidos de varios usuarios y realizar una depuración única. En este caso, la autorización de vertido se otorgará en forma conjunta a favor de la Asociación constituida o al grupo de usuarios que se unan al efecto.

Art. 42.—La Autoridad Competente promoverá la constitución de empresas depuradoras para que se encarguen de la depuración de vertidos procedentes de terceros previo contrato con los mismos en que se especifiquen las condiciones del trabajo a realizar.

En caso que un usuario, autorizado o no, contrate a una empresa depuradora de vertidos, la última será responsable ante la Autoridad competente de las condiciones en que se verifique la depuración.

Art. 43.—Si se comprobare que la depuración que se ha sometido determinado vertido no satisface los niveles de calidad que se pretenden lograr, la Autoridad Competente podrá ordenar al usuario autorizado, a ejecutar el tratamiento complementario que sea necesario para el al-

cance de los niveles fijados. En tal caso, la Autoridad Competente fijará las condiciones al usuario quien deberá cumplirlas en el plazo señalado, bajo pena que se le revoque la autorización.

TITULO V

NORMAS SOBRE PROTECCION

CAPITULO I

De las Zonas de Protección contra la Contaminación

Art. 44.—La Oficina Conjunta en coordinación con el MAG, MSPAS y ANDA podrá efectuar los estudios necesarios y elaborar las normas pertinentes a fin de establecer las zonas de protección contra la contaminación en aquellos lugares donde se haya determinado técnicamente que el recurso agua debe ser preservado, en su calidad y cantidad. Tales zonas de protección deberán ser establecidas de conformidad a la Ley Forestal.

Art. 45.—La Autoridad Competente no autorizará ningún uso de aguas cuando ésta signifique incompatibilidad con los fines que persigue determinada zona protectora.

Asimismo, los usuarios autorizados están obligados a ejecutar las obras o trabajos de protección de los recursos hídricos, según se les determine en la autorización respectiva.

Art. 46.—De conformidad a las disposiciones contenidas en la Ley Forestal, Decretos y demás reglamentos sobre la materia, se consideran como zonas críticas protectoras del recurso agua, las siguientes:

- Las partes altas de las cuencas hidrográficas delimitadas al efecto;
- Las zonas adyacentes hasta una distancia de cincuenta metros de los medios soportes de ríos, lagos y lagunas; y
- El medio soporte de las aguas subterráneas.

Art. 47.—En las zonas situadas a menos de trescientos metros de una fuente natural de agua, no podrá hacerse uso de sustancias contaminantes de ninguna naturaleza, de acuerdo con las leyes y reglamentos de la materia.

Art. 48.—Corresponde a la Oficina Conjunta coordinar con el MAG, MSPAS y ANDA la realización de los estudios necesarios en las zonas de protección, así como de sus medios soportes y de las obras de tratamiento.

Art. 49.—Las empresas comerciales o industriales por establecerse que deseen funcionar dentro de una zona declarada de protección, se sujetarán a las indicaciones y disposiciones que fije la Autoridad Competente, a fin de que la explotación de la empresa no interfiera en los usos públicos de la zona y no se perjudiquen los medios soportes o se ponga en peligro la estabilidad de las márgenes, las obras construidas en los mismos y el normal desarrollo de los usos establecidos.

Art. 50.—Las zonas de veda para siembra y cultivo de algodón cerca de los cuerpos de agua, se consideran zonas de protección para los fines de este Reglamento.

Art. 51.—Las disposiciones contenidas en la legislación forestal, vigente serán aplicables a estas zonas de protección en lo que sea compatible con el recurso agua.

Art. 52.—Las zonas protectoras del suelo gozan de protección especial por parte del Estado, quien deberá tomar medidas eficaces de administración y preservación de los recursos suelo y agua.

Art. 53.—Dentro de los límites de las zonas de protección de los recursos hídricos, queda sujeta su autorización a lo establecido en el presente Reglamento, la construcción de viviendas, edificios, desagües, cisternas, tanques sépticos, fosas, resumideros, aguias de estabilización y redes de alcantarillado, así como de depósitos de basura que puedan poner en peligro el acuífero respectivo o que pueda ser arrastrada por las aguas.

CAPITULO II

NORMAS GENERALES

Art. 54.—Nadie podrá variar el régimen, la naturaleza o la calidad de las aguas, ni a través de cauces, ni el uso público de los medios soporales, salvo en los casos siguientes:

a.—Para regular los caudales;

b.—Para hacerlas utilizables; y

c.—En los casos específicos que determine el Organismo Ejecutivo, y mediante dictamen favorable de la Autoridad Competente.

Art. 55.—Todo establecimiento comercial o industrial que se encuentre ubicado en la zona adyacente al medio acuático, está obligado a mantener en perfecto estado de higiene dicha zona, estando absolutamente prohibido que arrojen en el ambiente desperdicios, restos de cualquier material putrescente y no degradable.

Art. 56.—Queda estrictamente prohibido el tratamiento de la vegetación con pesticidas o con cualquier otro producto químico o bioquímico capaz de dañar el medio acuático dentro de los límites de la zona de protección.

Art. 57.—Pueden utilizarse para fines de recreación las aguas cuyo uso no interfiera con otros usos prioritarios, o con los objetivos de calidad.

Art. 58.—En ningún caso los usos comunes del agua deberán dañar las zonas de protección o sus medios soporales, ni detener, demorar, acelerar o desviar el curso, captación o aforamiento de las aguas.

TITULO VI

De las Aguas Negras o Aguas Residuales Domésticas

Art. 59.—El control de la contaminación producida por los residuos líquidos domésticos estará sujeto a las disposiciones de la legislación vigente sobre los usos de abastecimiento de agua potable, domésticos, comerciales e industriales, en aquellos núcleos de población que cuentan con redes de alcantarillado sanitario administrado por ANDA y organismos afines.

Art. 60.—Las entidades, personas naturales o jurídicas encargadas de la explotación de una red de alcantarillado sanitario, deberán tomar las medidas necesarias para disminuir los riesgos de deterioro de la red o del cuerpo de agua en la que se descargue.

La Autoridad Competente establecerá los tratamientos a que se deberán someter las aguas negras provenientes de las redes de alcantarillado sanitario con vistas a lograr determinados niveles de calidad.

Art. 61.—Las entidades, personas naturales o jurídicas encargadas de la explotación de una red de alcantarillado sanitario, están obligadas a sujetarse a las normas sobre control de vertidos a sistemas de alcantarillado sanitario que dicten ANDA y MSPAS.

Art. 62.—En los núcleos poblacionales en que el alcantarillado sanitario no sea administrado por ANDA, el monto de las tarifas por depuración deberá ser el mismo que establezca ANDA para sistemas similares.

En todos los casos y lugares, el importe total por ese concepto será destinado por ANDA única y exclusivamente a obras o tratamientos del lugar que comprenda.

Art. 63.—Para establecer las tarifas a que se refieren los artículos anteriores, ANDA se basará en los volúmenes y cargas contaminantes a tratar y de conformidad con su Ley de Creación.

Art. 64.—Todas las entidades encargadas de la explotación de una red de alcantarillado, están en la obligación de acatar las normas técnicas y aplicar las tarifas que establezca ANDA, para el vertido de aguas residuales, industriales y domésticas, en redes de alcantarillado sanitario.

Art. 65.—ANDA deberá elaborar los planes o estudio de tratamiento de las aguas residuales, industriales o domésticas que provengan de redes de alcantarillado sanitario y las someterá, para su aprobación al MSPAS, quien velará por el cumplimiento de las normas establecidas por este Reglamento.

Cuando se trate de alcantarillados sanitarios no administrados por ANDA, el encargado de su explotación deberá seguir el mismo procedimiento.

Art. 66.—Cuando ANDA lo considere necesario podrá celebrar los contratos respectivos a fin de que empresas depuradoras de vertidos sean autorizadas para administrar plantas de tratamiento bajo su administración o dominio de conformidad a su Ley de Creación.

TITULO VII

De las Aguas Litorales y Marítimas

Art. 67.—La Autoridad Competente autorizará los vertidos de aguas residuales o residuos sólidos que se pretendan efectuar en el mar territorial bajo los términos del TITULO III de este Reglamento y los que ya estuvieren vertiéndose, tendrán que someterse a las normas aquí establecidas.

Art. 68.—La Autoridad Competente deberá emitir opinión sobre la conveniencia cuando se trate de desarrollar explotaciones de hidrocarburos o minerales en el mar territorial, en lo referente a la contaminación de las aguas.

Art. 69.—La Autoridad Competente deberá exigir que las descargas de residuos cloacales que se arrojen cerca de la costa no representen peligro de contaminación de las aguas marítimas, para lo cual deberá realizar o verificar estudios y establecer la distancia en que deberán ser depositados, previa su depuración.

Art. 70.—Toda industria o establecimiento comercial o turístico, cuyas descargas sean depositadas directamente en las aguas marítimas en zonas contiguas o adyacentes a la costa, o a una

zona de protección, deberá cumplir con las normas de calidad que dicte la Autoridad Competente.

Art. 71. En los proyectos que ANDA desarrolle referentes al tratamiento de aguas residuales, antes de ser arrojadas a las aguas del mar, ANDA deberá someterse a las disposiciones de la autoridad competente.

Art. 72. Quedan prohibidas las actividades que pongan en peligro de contaminación las zonas marítimas ecológicamente sensibles, tales como estuarios, esteros, bahías, manglares u otras análogas.

Art. 73. Quienes se dediquen a las actividades pesqueras deberán sujetarse a las normas de protección de los recursos marítimos que establece este Reglamento y las contenidas en la Ley General de Actividades Pesqueras.

TITULO VIII

Sancciones y Procedimientos

Art. 74. Las infracciones a lo dispuesto por este Reglamento se castigarán de conformidad al Capítulo IX de la Ley de Riego y Avenamiento.

Art. 75. A efecto de dar cumplimiento a lo dispuesto en el Art. 100 de la Ley de Riego y Avenamiento las infracciones al presente Reglamento se califican en dos categorías: graves y menos graves.

Art. 76. Son infracciones graves:

- a.—Verter aguas intencionadas;
- b.—Verter residuos cloacales y aguas servidas de cualquier clase, que contravengan lo establecido en este Reglamento.
- c.—Entorpecer o encubrir por cualquier medio el cumplimiento de los niveles de calidad del agua que fija este Reglamento;
- d.—Efectuar descargas sin autorización de la Autoridad Competente; y
- e.—Usar medios fraudulentos para obtener autorización de vertidos.

Art. 77. Son infracciones menos graves:

- a.—No llevar el libro de control de la operación del sistema de tratamiento;
- b.—No permitir el acceso de los delegados, empleados o inspectores de la Autoridad Competente en los inmuebles de propiedad privada para el cumplimiento de sus labores;
- c.—El cumplimiento parcial de las condiciones fijadas en la autorización del vertido; y
- d.—Cualquier otra infracción al presente Reglamento no considerada en los literales anteriores.

Art. 78. Por las infracciones graves se impondrán multas desde los mil hasta tres mil colones; y por las menos graves, multas desde cincuenta hasta dos mil colones.

Art. 79. Para imponer y hacer efectivas las sanciones a que se refiere el presente título se procederá de conformidad a lo establecido en el Artículo 9 de este Reglamento.

TITULO IX

De la Protección de las Obras Sanitarias

CAPITULO I

Límites Permisibles

Art. 80. No serán vertidos a la red pública de alcantarillado de aguas negras, aguas que perjudiquen las tuberías y/o alteren las características físicas, químicas o bacteriológicas, separadamente o en conjunto, de las aguas receptoras de los efluentes del alcantarillado o sean nocivas para las instalaciones de tratamiento de aguas negras.

Art. 81. No serán vertidos a la red de Alcantarillados de aguas negras, ni a algún sistema de alcantarillado, aguas que contengan en exceso a los límites siguientes:

1.—Sustancias tóxicas y venenosas:

a.—Cobre (Cu)	0.20 mg/l
b.—Cromo (Cr)*	0.05 mg/l
c.—Níquel (Ni)	0.80 mg/l
d.—Zinc (Zn)	5.00 mg/l
d.—Arsénico (As)	0.05 mg/l
f.—Clanuro	0.10 mg/l
e.—Fenoles	0.005 mg/l

2.—Sustancias explosivas

3.—Agentes bactericidas, fungicidas e insecticidas

entre 0.10 a 10 mg/l

4.—Aceites y grasas

20 mg/l

5.—Materiales radio-activos

entre 3 a 1000 pc/l

6.—Otros que se establezcan para casos especiales.

Art. 82. El contenido de sólidos de las aguas residuales industriales que reciban los alcantarillados deberán tener las siguientes características:

- 1.—Sólidos totales inferior a 1000 mg/l; y
- 2.—Sólidos en suspensión inferior a 500 mg/l

Art. 83. El pH de las aguas residuales industriales no deberán ser inferior a 5 ni superior a 9.0

Art. 84.—La temperatura de las aguas residuales industriales no deberá ser superior a 50°C de la temperatura media de la localidad y nunca mayor de 35°C.

Art. 85.—No serán permitidas descargas momentáneas de grandes volúmenes de aguas residuales industriales de alta concentración que altere las características físicas, químicas o bacteriológicas de las aguas receptoras de los alcantarillados, debiendo en estos casos hacer los vertidos con volumen uniforme durante el período de funcionamiento de la industria.

En casos especiales, de acuerdo con ANDA, se podrán hacer vertidos de aguas residuales industriales en un período menor o mayor.

Art. 86.—Cuando las aguas residuales industriales sean vertidas a la red de alcantarillado de aguas negras y perjudiquen la red y/o alteren

las características físicas, químicas o bacteriológicas separadamente o en conjunto con las aguas receptoras de los efluentes del alcantarillado, o sean nocivas para las instalaciones de tratamiento de aguas negras, las aguas residuales industriales deberán ser sometidas a un tratamiento previo correctivo.

Art. 87.—Los tratamientos previos correctivos a que se someterán los efluentes industriales serán determinados de acuerdo con el tipo de industria, pudiendo incluir los siguientes procesos:

- 1—rejillas;
- 2—neutralización;
- 3—remoción de aceites;
- 4—remoción de sólidos sedimentables y flotantes;
- 5—precipitación química; y
- 6—otros que se consideren necesarios.

CAPÍTULO II

INDUSTRIAS LOCALIZADAS EN AREAS CON RED PÚBLICA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS NEGRAS Y PLANTA DE TRATAMIENTO

Art. 88.—Los propietarios de las industrias que viertan sus aguas residuales a los alcantarillados serán responsables de los deterioros ocasionados al sistema de conformidad a lo establecido en el presente Reglamento.

Art. 89.—Cuando las características de las aguas residuales industriales no satisfagan las normas de este Reglamento deberá ser hecho un tratamiento previo correctivo antes de efectuar el vertido al alcantarillado de la red pública.

CAPÍTULO III

Industrias localizadas en áreas sin red pública de alcantarillado

Art. 90.—No serán vertidas las aguas residuales industriales en condiciones que alteren las características físicas, químicas o bacteriológicas separadamente o en conjunto de las aguas receptoras de acuerdo con los reglamentos emitidos por los Ministerios de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social de Agricultura y Ganadería y de Salud Pública y Asistencia Social.

Art. 91.—Cuando las aguas residuales industriales alteren las características de las aguas receptoras, deberán ser sometidas previamente a un tratamiento preliminar, primario o secundario a fin de que satisfaga las normas de este Reglamento y los emitidos por los Ministerios de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social, de Agricultura y Ganadería y de Salud Pública y Asistencia Social.

CAPÍTULO IV

Instalaciones Industriales

Art. 92.—Dentro del plazo de tres meses de vigencia de este Reglamento ANDA establecerá el Registro de Industrias para fines de control de los vertidos de aguas residuales industriales.

Art. 93.—Toda industria nueva o existente deberá, dentro de un plazo de seis meses de la vigencia de este Reglamento, proporcionar la información necesaria que permita evaluar su aporte de aguas residuales industriales al alcantarillado en lo referente a cantidad, calidad, sólidos en suspensión, pH, temperatura y presencia de sustancias nocivas, debiendo cumplir con los límites establecidos en los artículos del 80 al 87 de este Reglamento.

Art. 94.—Los proyectos de tratamiento de aguas residuales industriales deberán incluir:

- a.—Estimación de consumo de aguas, volumen de aguas residuales, número total de empleados y cantidades de materia prima a ser utilizadas;
- b.—Descripción de las condiciones locales, mostrando las condiciones del vertido del efluente al alcantarillado de aguas negras o a algún cuerpo de agua superficial o subterránea, para dar un criterio respecto al grado de tratamiento necesario; y
- c.—Justificación de grado de tratamiento adoptado cuando sea necesario.

Art. 95.—El proyecto de las instalaciones destinadas al tratamiento de las aguas residuales industriales deberá ser presentado para su aprobación a ANDA, en tres copias, firmado por un profesional responsable y contendrá:

- a.—Memoria descriptiva y justificación;
- b.—Plano de ubicación de las instalaciones de tratamiento, indicando claramente el punto de vertido que se haga en la red pública o curso de agua;

c.—Plantas y perfiles generales, detallando las diversas unidades de sus equipamientos;

d.—Previsión de área para ampliación futura de las instalaciones de tratamiento, de acuerdo con el programa de expansión de la industria; y

e.—Planos que, deberán ser presentados de acuerdo con las disposiciones emitidas por ANDA al respecto.

Art. 96.—En las instalaciones hidráulicas-sanitarias, deberán ser proyectados y construidos independientemente los alcantarillados para: aguas negras, aguas residuales industriales y aguas lluvias admitiéndose la combinación de los alcantarillados de aguas negras, y aguas residuales industriales fuera de las instalaciones industriales.

Art. 97.—En los establecimientos industriales localizados dentro de las zonas servidas por la red pública de alcantarillado de aguas negras deberá presentarse un tratamiento previo siempre que las aguas residuales industriales sean nocivas a los alcantarillados o a las instalaciones de tratamiento público de acuerdo con lo normado por este Reglamento en los siguientes casos:

a.—Temperaturas muy elevadas de las aguas residuales industriales que puedan dañar las canalizaciones o las instalaciones de tratamiento público;

b.—Aguas residuales industriales que contengan materias capaces de sedimentarse o de provocar sedimentaciones;

c.—Aguas residuales industriales que contengan ácidos capaces de provocar corrosión en las canalizaciones;

d.—Aguas residuales industriales muy alcalinas que puedan causar corrosión e incrustaciones;

e.—Aguas residuales industriales que contengan sustancias adversas a los procesos de tratamiento de las aguas negras o a la utilización de los lodos resultantes;

f.—Aguas residuales industriales que contengan residuos de gasolina o querosina; y

g.—Aguas residuales industriales con exceso de aceites, gorduras y sustancias grasas.

Art. 98.—En los establecimientos industriales localizados fuera de las zonas servidas por la red pública de alcantarillado, deberá efectuarse un tratamiento previo con el fin de dar cumplimiento a este Reglamento y a las leyes o reglamentos sobre polución emitidos por los Ministerios de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social, de Agricultura y Ganadería y de Salud Pública y Asistencia Social.

Art. 99.—ANDA dará permiso de funcionamiento de las obras que se construyan para tratamiento de las aguas residuales industriales de acuerdo con la aprobación previa concedida.

Art. 100.—La operación y mantenimiento de las instalaciones de los sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales será responsabilidad de los propietarios de los establecimientos industriales.

CAPITULO V

Disposiciones Generales

Art. 101.—ANDA establecerá dentro del plazo de tres meses de la fecha de vigencia de este Reglamento la Oficina de Control de Registro de Vertidos Industriales, la cual deberá estar funcionando con los recursos técnicos de equipo y de personal especializado necesario que permita controlar las industrias en el cumplimiento de este Reglamento, y asimismo, establecer las violaciones y las sanciones respectivas.

CAPITULO VI

Disposiciones Transitorias

Art. 102.—Con el fin de que los establecimientos industriales existentes sometan a aprobación de ANDA el sistema de disposición de sus aguas residuales industriales, se establece el plazo de un año, contado a partir de la fecha de vigencia de este Reglamento.

TITULO X

Disposiciones Generales

Art. 103.—Las unidades de medición, para efectos de este Reglamento son las del Sistema Internacional de Medidas:

a.—Como unidad de volumen será el metro cúbico o el litro.

b.—Como unidad de caudal será el metro cúbico por segundo o el litro por segundo.

c.—Como unidad de concentraciones serán los miligramos por litro y los miliequivalentes por litro.

Art. 104.—Los delegados, empleados e inspectores de la Autoridad Competente están facultados a constituirse en los inmuebles de propiedad privada cuando ello sea necesario, para el debido cumplimiento de las labores debiendo para ello, acreditar su calidad de tales y guardando el debido respeto a los bienes e instalaciones del inmueble de que se trate.

Por su parte, los propietarios quedan obligados a permitir el ingreso de tales personas a los inmuebles de su propiedad pudiendo denunciar ante la Autoridad Competente cualquier abuso por parte de sus funcionarios o empleados.

Art. 105.—La Oficina Conjunta llevará un registro de las empresas o sociedades de cualquier tipo que se dediquen a efectuar comercialmente tratamientos o depuraciones de aguas residuales. La Autoridad Competente calificará a las empresas o sociedades legalmente constituidas que estén técnicamente aptas para ser inscritas en el registro anterior.

Art. 106.—Asimismo, ANDA y la Oficina Conjunta llevarán un registro correspondiente a los nombres y firmas de los profesionales autorizados para el diseño de plantas de tratamiento o de las obras de depuración de que trata este Reglamento. La Autoridad Competente establecerá los requisitos que deben cumplir, previo a su inscripción en este registro.

Art. 107.—En todo lo que no esté previsto en el presente Reglamento se aplicarán las disposiciones contenidas en las leyes vigentes sobre calidad o contaminación de aguas y, en su defecto, la legislación común.

Art. 108.—Para los efectos de este Reglamento y de acuerdo con su Art. 2, se adoptan las definiciones contenidas en el glosario siguiente:

GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS

1.—**CUERPOS DE AGUA:** Masa de agua estática o en movimiento tales como ríos, lagos, lagunas, fuentes, acuíferos, mares, embalses.

2.—**DEPURACION:** Modificación de la naturaleza contaminante de un vertido.

3.—**OBJETIVOS DE CALIDAD:** Metas que se desean alcanzar o mantener en la calidad de los cuerpos de agua.

4.—**DESCARGA O VERTIDO:** Efluente que proviene de un establecimiento doméstico, industrial, comercial, agrícola o de una red de alcantarillado.

5.—**ZONA DE PROTECCION:** Delimitación geográfica sometida a un régimen especial de protección.

6.—**INFICIONAR:** Hechar a perder, contaminar las aguas.

7.—**INDUSTRIA:** Conjunto de operaciones materiales ejecutadas para obtener, transformar, perfeccionar o transportar uno o varios productos naturales o sometidos ya a otro proceso industrial preparatorio.

8. **AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES:** Son aquellos desechos líquidos resultantes de cualquier proceso industrial pudiendo contener, residuos orgánicos, minerales, y tóxicos.

9. **AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS O AGUAS NEGRAS:** Es la combinación de los líquidos y residuos, arrastrados por el agua procedentes de casas, edificios comerciales, fábricas e instalaciones, resultante del uso humano del agua.

10. **AGUAS LLUVIAS:** Son aquellas resultantes como consecuencia del ciclo hidrológico que se producen por el fenómeno de la evaporación en la atmósfera pasando del estado gaseoso al estado líquido y precipitándose en forma de lluvia a la superficie terrestre, de donde vuelve a evaporarse y transpirarse, para continuar el ciclo.

11. **ALCANTARILLADO:** Es el conjunto o sistema de obras, instalaciones y servicios que tienen por objeto la evacuación y disposición final de las aguas residuales. Tal conjunto o sistema comprende las alcantarillas sanitarias con sus pozos de visita, los colectores maestros y de descarga, las plantas de tratamiento, el suelo en el cual se encuentran ubicados las obras, las instalaciones y servicios arriba indicados y las servidumbres necesarias.

12. **POLUCION:** Es la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, que puedan constituir un perjuicio a la salud, a la seguridad y al bienestar de la población que ponga en peligro o altere la fauna icthyológica, los usos agrícolas, comerciales industriales o recreativos del agua.
13. **CONTAMINACION:** Es la polución del agua por bacterias y organismos patógenos o sustancias tóxicas que la hacen o transforman en impropias para el consumo humano, para los usos domésticos, agrícolas e industriales, interfiriendo con los objetivos de calidad.
14. **ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS:** Es el conjunto o sistema de obras, instalaciones y servicios que tienen por objeto la evacuación y disposición final de las aguas lluvias.
15. **ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS:** Es el conjunto de obras, instalaciones y servicios que tienen por objeto la evacuación y disposición final de las aguas residuales domésticas o aguas negras.
16. **TRATAMIENTOS PRELIMINARES:** Son Aquéllas que se efectúan como preparación de las aguas residuales para un tratamiento o disposición posterior, pudiendo ser:
- rejillas o desintegradores;
 - cajas de arena;
 - tanque de remoción de aceites y grasas; y
 - aereación preliminar.
17. **TRATAMIENTOS PRIMARIOS:** son aquéllas que comprenden además de los tratamientos preliminares, los siguientes:
- sedimentación simple (primaria);
 - precipitación química y sedimentación completa;
 - digestión de lodos;
 - secado, disposición sobre terreno o incineración de los lodos resultantes;
 - desinfección; y
 - filtros gruesos.
18. **TRATAMIENTOS SECUNDARIOS:** Son aquéllas que además de los tratamientos preliminares y primarios incluyen un proceso biológico conveniente y una sedimentación final secundaria, seguida o no de un proceso de desinfección.
19. **TRATAMIENTO TERCARIO O AFINADO:** Son aquéllas que se efectúan para complementar los procesos anteriores, siempre que las condiciones locales exijan eventualmente un grado más elevado de depuración con el fin de mejorar su calidad, apariencia y presentación de los efluentes, pudiendo ser:
- filtros de arena;
 - lodos activados;
 - lagunas de oxidación; y
 - procesos de oxidación total.

Art. 109.—El presente Reglamento entrará en vigencia el día de su publicación en el Diario Oficial.

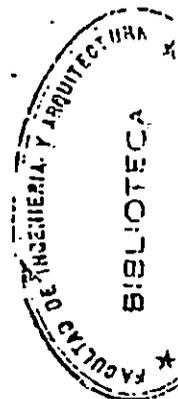
DADO EN CASA PRESIDENCIAL: San Salvador, a los dieciséis días del mes de octubre de mil novecientos ochenta y siete.

RODOLFO ANTONIO CASTILLO CLARAMOUNT,

Vicepresidente de la República, Encargado del Despacho Presidencial.

Roberto Suárez Suay,

Secretario Particular y Encargado del Ministerio de la Presidencia.



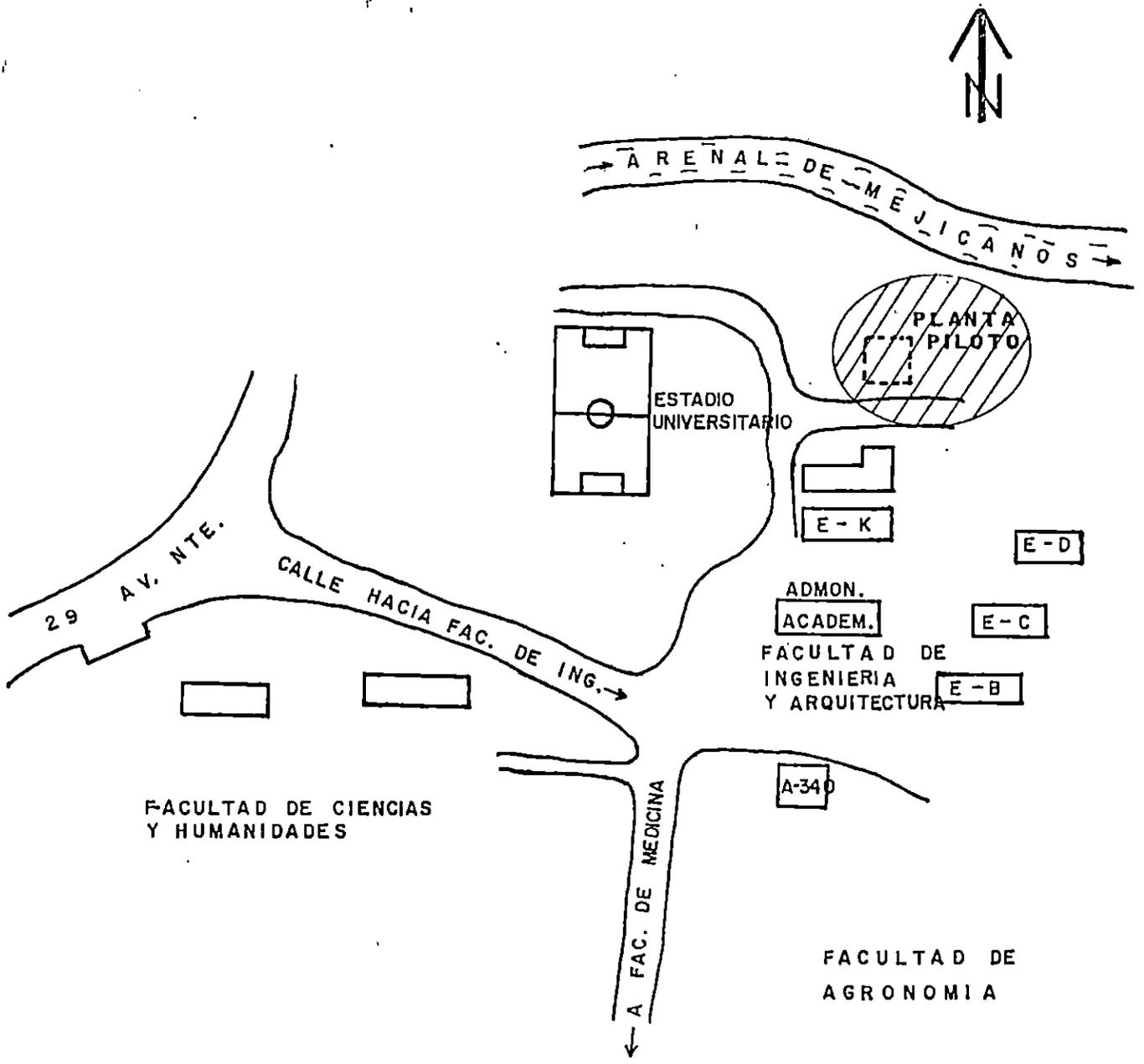
ANEXO 3

REGISTRO DE ALGUNAS PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL PAIS

UBICACION	TIPO DE PLANTA	TIPO DE TRATAMIENTO	SITUACION ACTUAL	AÑO DE INICIO DE FUNCIONAMIENTO	POBLACION	OBSERVACIONES
Puerto el Triunfo	Mecanizada	Canal de Oxidación Tanque de Aereación Sedimentación	Problemas de asolvamiento debido a deterioros de subestación eléctrica	1,980	2,000 hab.	Abandonada
Puerto de La Libertad	Mecanizada	Clasificación: batería de filtros	Problemas de potencia de los aereadores	1,979 - 1,980	3,000 hab.	Se estan haciendo los arreglos necesarios para aumentar la potencia.
Santiago Nonualco	No Mecanizada	Laguna de Estabilización	Buen funcionamiento	1,980 - 1,981	3,600 hab.	Puede recibir mayor carga de la que recibe actualmente.
Cuartel de Caballería	No Mecanizada	Laguna de Estabilización	Buen funcionamiento			
Cuartel de Chalatenango	No Mecanizada	Laguna de Estabilización	Buen funcionamiento			
Residencial Europa (Nueva San Salvador).	Mecanizada	Lodos activados y lechos de secado	Baja Eficiencia	1,990	3,090 hab.	Esta mal diseñado el sedimentador
Urbanización Los Naranjos (Apopa).	Mecanizada	Lodos activados y lechos de secado	En proceso de Construcción.	1,991	9,000 hab.	Hay que calibrar tiempo de operación. No acepta variaciones de carga.
Urbanización Los Alpes Suizos (Nueva San Salvador).	No Mecanizada Mecanizada	Lodos Activados. Filtros Percoladores.	En proceso de Construcción.	1,991		
Urbanización Prados de San Bartolo (Ilopango)	No Mecanizada	Tanque Imhoff, filtro biológico, lecho de secado, tanque de sección.		1,976	600 hab.	Nunca funcionó.
Urbanización Campo Verde (Ayutuxtepeque).	No Mecanizada	Tanque Imhoff, filtro biológico, lecho de secado, tanque de sección.	Mal funcionamiento	1,984	396 hab.	
Residencial Valparaiso (Ayutuxtepeque).	No Mecanizada	Tanque Imhoff, filtro percolador, lecho de secado.	Buen funcionamiento	1,987	126 hab.	Tiene mantenimiento
Urbanización Chávez Galeano	No Mecanizada	Tanque Imhoff, filtro percolador.	Mal funcionamiento	1,970		Mal diseñada. Se piensa rehabilitar.

DE LOS CUARTELES DE CHALATENANGO Y CABALLERIA NO SE OBTUVO LA POBLACION NI EL AÑO DE FUNCIONAMIENTO.
FUENTE: DEPARTAMENTO DE EVALUACION DE LA ADMINISTRACION NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (A.N.D.A.)

ANEXO 4



ESQUEMA DE UBICACION DE LA PLANTA PILOTO
Sin Escala

HOJA DE CALCULO DE DISTANCIAS POR METODOS TAQUIMETRICOS

EST.= 1
 LAT.= 288880.13 mt
 LONG.= 478265.82 mt
 ELEV.= 682.433 mt
 Hap.= 1.53 mt

VISTA DIRECTA AL NORTE MAGNETICO CON 0.0

PTO	ANG.	HOR.	LECT	ANG V	Hs	Hi	S	DH	DV	Hc	Elevacion	Lat.	Long.
1	173	36.9	89	9.10	0.716	0.484	0.232	-23.19	0.343	0.600	683.706	288857.08	478260.40
2	209	58.4	90	0.00	1.060	0.786	0.274	-27.40	0.000	0.923	683.040	288856.39	478252.13
3	230	16.3	86	24.50	2.559	2.043	0.516	-51.40	3.226	2.301	684.888	288847.28	478226.29
4	244	17.0	86	26.50	2.948	2.455	0.493	-49.11	3.054	2.702	684.315	288858.82	478221.57
5	359	46.1	90	0.00	2.656	2.475	0.181	-18.10	0.000	2.566	681.398	288898.12	478263.86
6	347	43.5	90	0.00	2.684	2.526	0.158	-15.80	0.000	2.605	681.358	288895.57	478262.46
7	339	11.2	90	0.00	2.267	2.129	0.138	-13.80	0.000	2.198	681.765	288893.03	478260.92
8	332	2.2	90	0.00	1.696	1.574	0.122	-12.20	0.000	1.635	682.328	288890.91	478260.10
9	325	50.0	90	0.00	0.910	0.806	0.104	-10.40	0.000	0.858	683.105	288888.74	478259.98
10	320	49.8	90	0.00	1.433	1.336	0.097	-9.70	0.000	1.385	682.579	288887.65	478259.69
11	320	31.5	90	0.00	2.568	2.475	0.093	-9.30	0.000	2.522	681.442	288887.31	478259.91
12	317	3.8	90	0.00	2.380	2.300	0.080	-8.00	0.000	2.340	681.623	288885.99	478260.37
13	318	41.6	90	0.00	1.216	1.167	0.049	-4.90	0.000	1.192	682.772	288883.81	478262.59
14	348	48.0	90	0.00	1.238	1.200	0.038	-3.80	0.000	1.219	682.744	288883.86	478265.08
15	32	50.0	90	0.00	1.356	1.323	0.033	-3.30	0.000	1.340	682.624	288882.90	478267.61
16	81	35.0	90	0.00	1.410	1.302	0.108	-10.80	0.000	1.356	682.607	288881.71	478276.50
17	100	39.0	90	0.00	1.545	1.490	0.055	-5.50	0.000	1.518	682.446	288879.11	478271.23
18	99	27.3	90	0.00	1.534	1.465	0.069	-6.90	0.000	1.500	682.464	288879.00	478272.63
19	100	9.3	90	0.00	2.596	2.538	0.058	-5.80	0.000	2.567	681.396	288879.11	478271.53
20	85	43.3	90	0.00	1.754	1.677	0.077	-7.70	0.000	1.716	682.248	288880.70	478273.50
21	76	13.5	90	0.00	2.624	2.537	0.087	-8.70	0.000	2.581	681.303	288882.20	478274.27
22	68	52.5	90	0.00	2.345	2.248	0.097	-9.70	0.000	2.297	681.667	288883.63	478274.87
23	67	12.8	90	0.00	1.783	1.668	0.115	-11.50	0.000	1.726	682.238	288884.58	478276.42
24	63	29.3	90	0.00	2.178	2.045	0.133	-13.30	0.000	2.112	681.852	288886.07	478277.72
25	54	37.8	90	0.00	1.300	1.150	0.150	-15.00	0.000	1.225	682.738	288888.81	478278.05
26	46	14.0	90	0.00	1.970	1.834	0.136	-13.60	0.000	1.902	682.061	288889.54	478275.64
27	46	15.0	90	0.00	3.838	3.708	0.130	-13.00	0.000	3.773	680.190	288889.12	478275.21
28	42	30.0	87	30.00	2.774	2.610	0.164	-16.37	0.715	2.692	681.986	288892.20	478276.88
29	42	34.0	87	30.00	3.355	3.155	0.200	-19.96	0.872	3.255	681.580	288894.83	478279.32
30	44	34.0	87	30.00	3.140	2.905	0.235	-23.46	1.024	3.023	681.965	288896.84	478282.28
31	42	8.5	88	3.00	3.900	3.635	0.265	-26.47	0.901	3.768	681.097	288899.76	478283.58
32	47	40.0	87	59.50	3.035	2.765	0.270	-26.97	0.946	2.900	682.009	288898.29	478285.75
33	52	3.5	88	1.40	3.150	2.850	0.300	-29.96	1.034	3.000	681.997	288898.55	478289.45
34	55	48.5	88	1.00	3.650	3.320	0.330	-32.96	1.141	3.485	681.619	288898.65	478293.08
35	48	9.6	87	52.00	3.165	2.835	0.330	-32.95	1.228	3.000	682.191	288902.11	478290.37
36	40	25.0	87	48.60	3.730	3.370	0.360	-35.95	1.375	3.550	681.788	288907.50	478289.13
37	32	25.0	88	34.00	3.890	3.510	0.380	-37.98	0.950	3.700	681.213	288912.19	478286.18
38	41	57.4	88	34.00	3.585	3.125	0.460	-45.97	1.150	3.355	681.758	288914.32	478296.55
#2	322	39.4	90	0.00	1.254	1.214	0.040	-4.00	0.000	1.234	682.729	288883.31	478263.39

HOJA DE CALCULO DE DISTANCIAS POR METODOS TAQUIMETRICOS

EST.= 3
 LAT.= 280891.85 mt
 LONG.= 478265.21 mt
 ELEV.= 676.728 mt
 Hap.= 1.52 mt

VISTA DIRECTA AL NORTE MAGNETICO CON 0.0

PTO	ANG.	HOR.	LECT	ANG V	Hs	Hi	S	DH	DV	Hc	Elevacion	Lat.	Long.
1	5	18.4	90	0.00	2.437	2.403	0.034	-3.40	0.000	2.420	675.828	280883.52	478266.13
2	356	45.0	90	2.00	2.160	2.128	0.040	-4.00	-0.002	2.148	676.098	280884.12	478265.59
3	285	26.0	76	8.00	2.485	2.448	0.037	-3.49	0.861	2.467	676.642	280881.06	478262.46
4	240	7.5	76	8.00	0.586	0.535	0.051	-4.81	1.187	0.561	678.874	280877.74	478261.65
5	211	34.3	81	44.00	1.315	1.245	0.070	6.86	0.995	1.280	677.964	280874.29	478262.23
6	188	29.4	81	44.00	0.98	0.899	0.081	7.93	1.153	0.940	678.461	280872.28	478264.65
7	162	28.5	74	6.00	2.645	2.554	0.091	-8.42	2.398	2.600	678.046	280872.10	478268.35
8	153	53	74	6.00	2.708	2.598	0.110	-10.17	2.898	2.653	678.493	280870.99	478270.30
9	139	2.0	73	20.00	1.844	1.725	0.119	-10.92	3.270	1.785	679.733	280871.88	478272.98
10	143	22.5	73	21.20	2.469	2.370	0.099	-9.09	2.717	2.420	678.546	280872.84	478271.24
11	133	7.0	69	21.50	3.405	3.305	0.100	-8.76	3.299	3.355	678.192	280874.14	478272.21
12	121	37.8	79	2.00	1.684	1.595	0.089	-8.58	1.662	1.640	678.271	280875.63	478273.12
13	103	55.0	84	0.00	1.638	1.567	0.071	-7.02	0.738	1.603	677.384	280878.44	478272.64
14	122	2.0	84	0.00	1.783	1.735	0.048	-4.75	0.499	1.759	676.908	280877.61	478269.84
15	200	2.2	85	0.00	1.522	1.470	0.052	-5.16	0.451	1.495	677.203	280875.28	478264.05
16	192	43.5	85	0.00	2.053	2.022	0.031	-3.08	0.269	2.038	676.480	280877.13	478265.14
17	83	36.5	85	2.00	2.128	2.109	0.019	-1.89	0.164	2.119	676.293	280880.34	478267.69

Inverse

Pt #	Northing	Easting	Function	Angle	Bearing	Distance
100	288858.82	478221.57	Inverse		NE 64.1707	49.11
1	288880.13	478265.82	Inverse	AR 78.1946	NW 37.2307	4.00
2	288883.31	478263.39	Inverse	AR 229.2457	NE 12.0150	8.73
3	288891.85	478265.21				

Please <ENTER> next point number...1

Please <ENTER> next point number...2

Please <ENTER> next point number...3

Please <ENTER> next point number...

Press <ALT><C> to enter the radius point of a curve; or press <ESC> to exit...

ANEXO 5

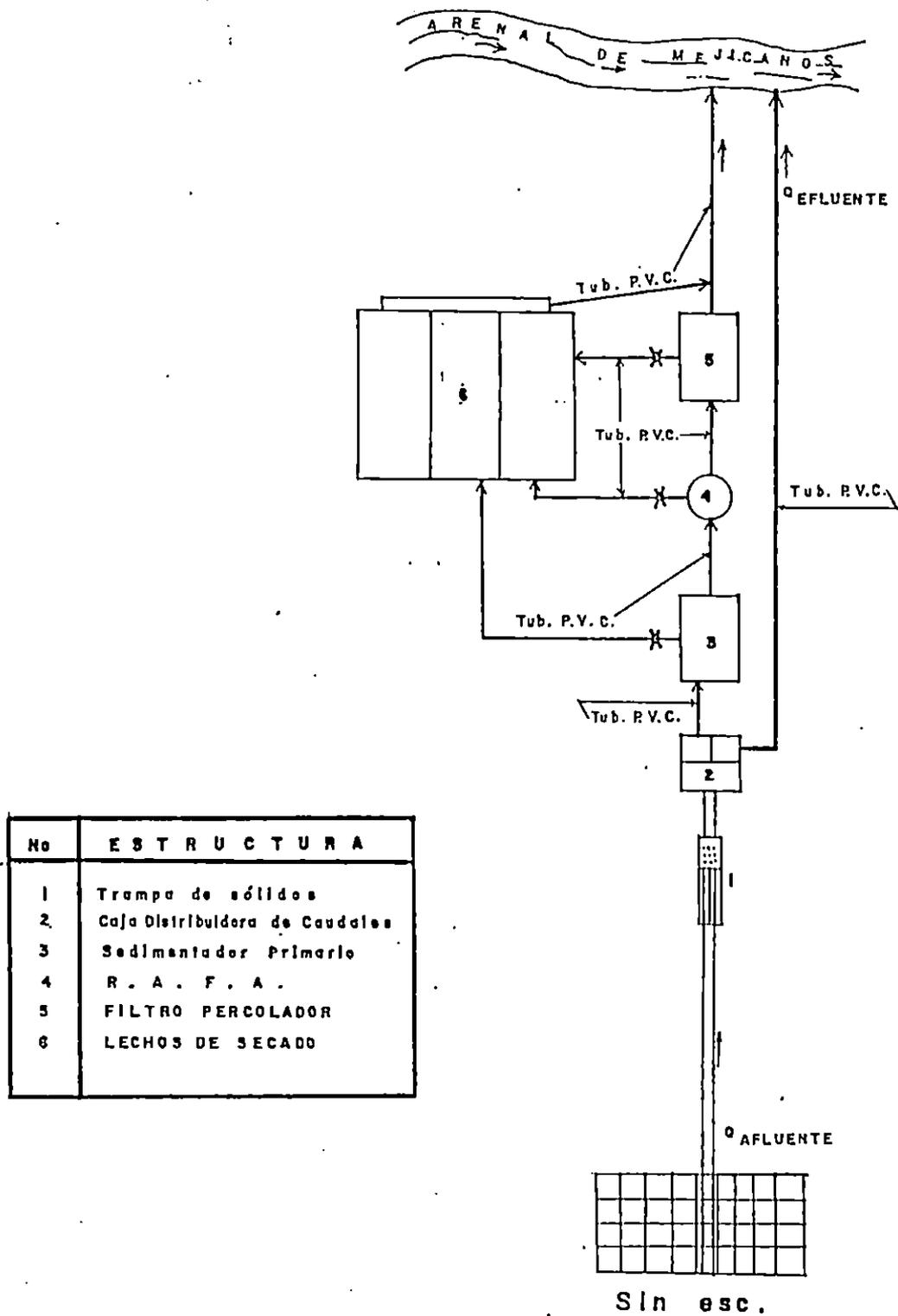


FIGURA "A"

"ESQUEMA DE DISTRIBUCION GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PROPUESTA"

ATMOSFERA

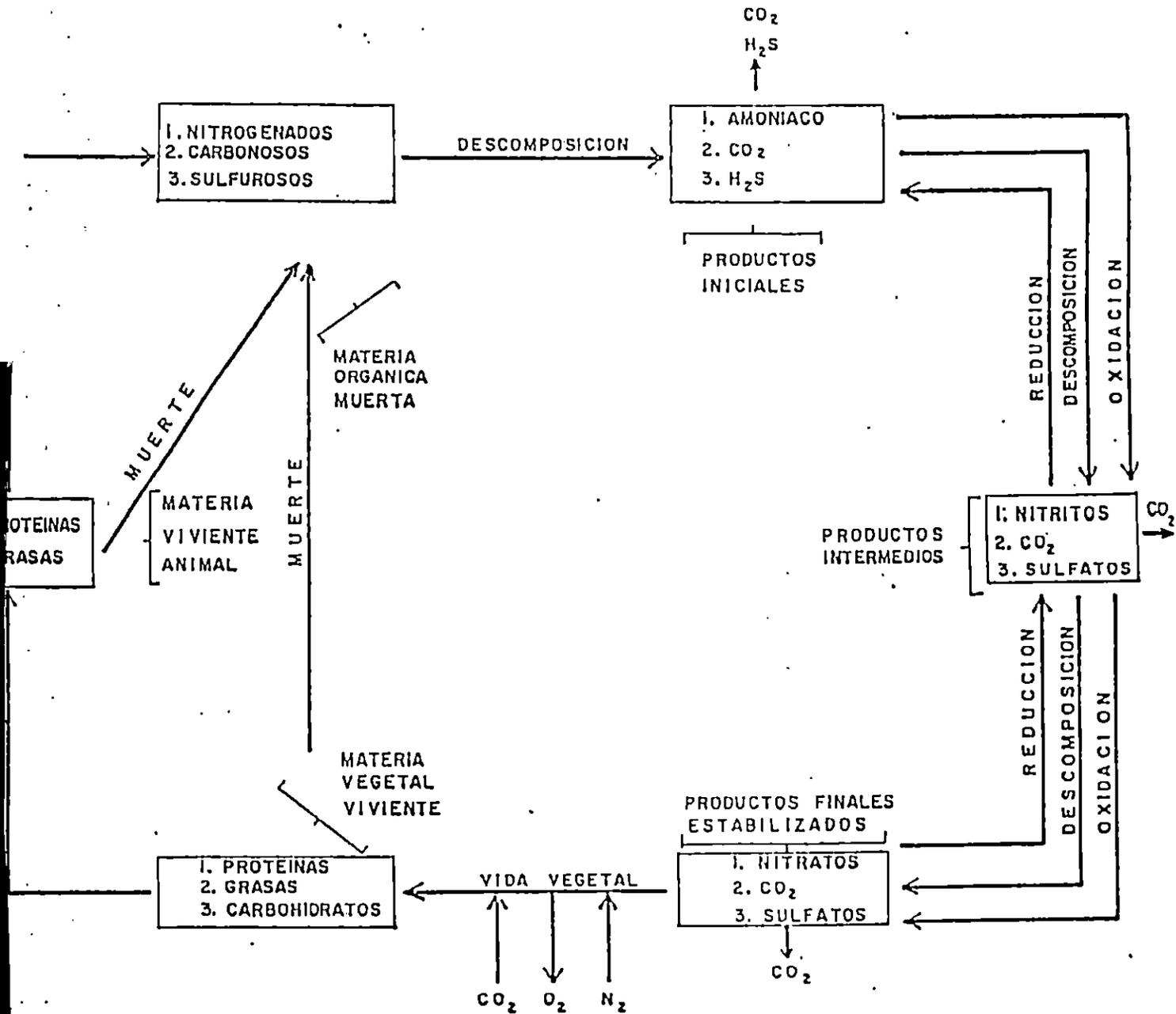


FIGURA 1 CICLO AEROBICO

ATMOSFERA

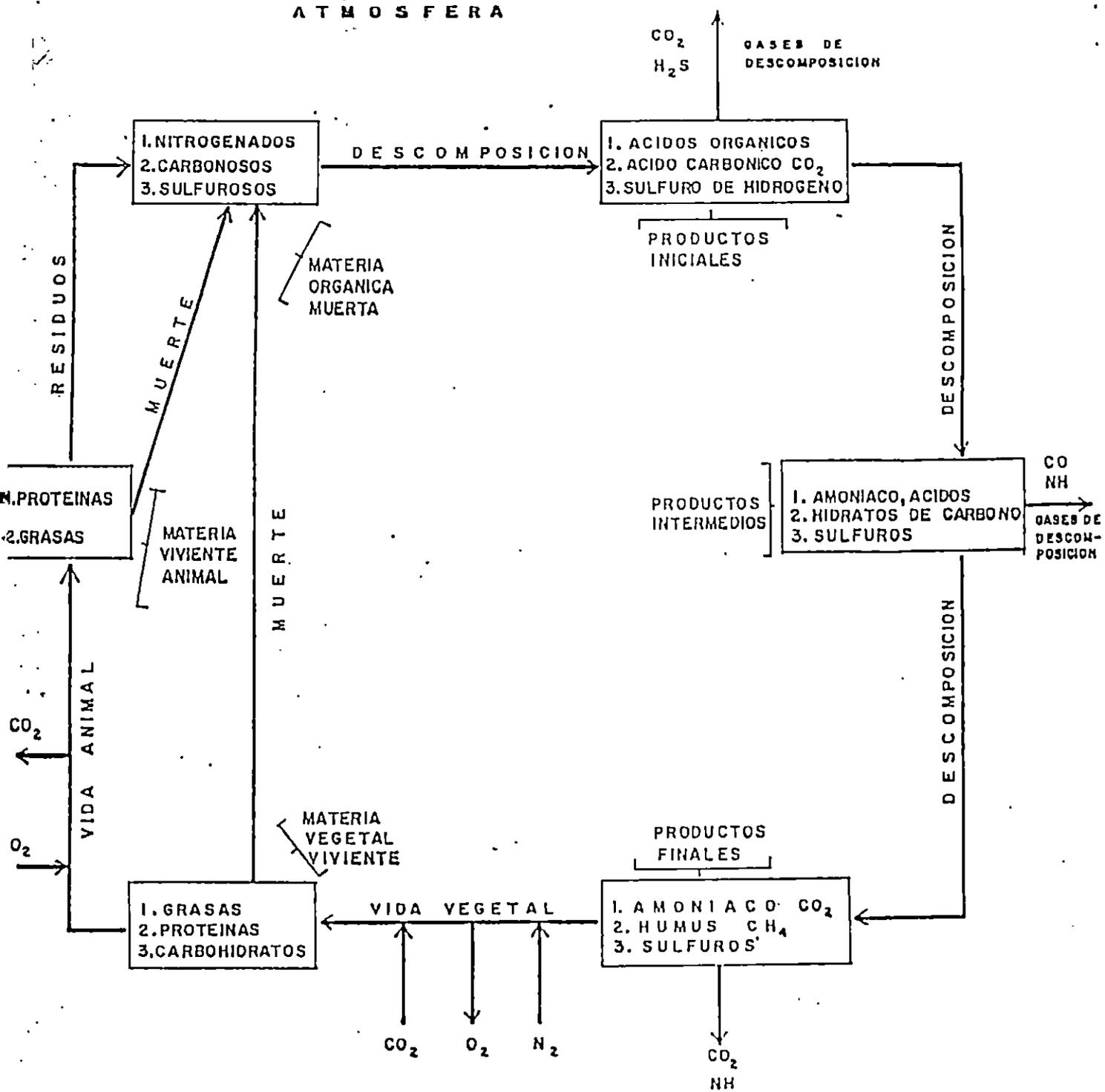


FIGURA 2 CICLO ANAEROBICO

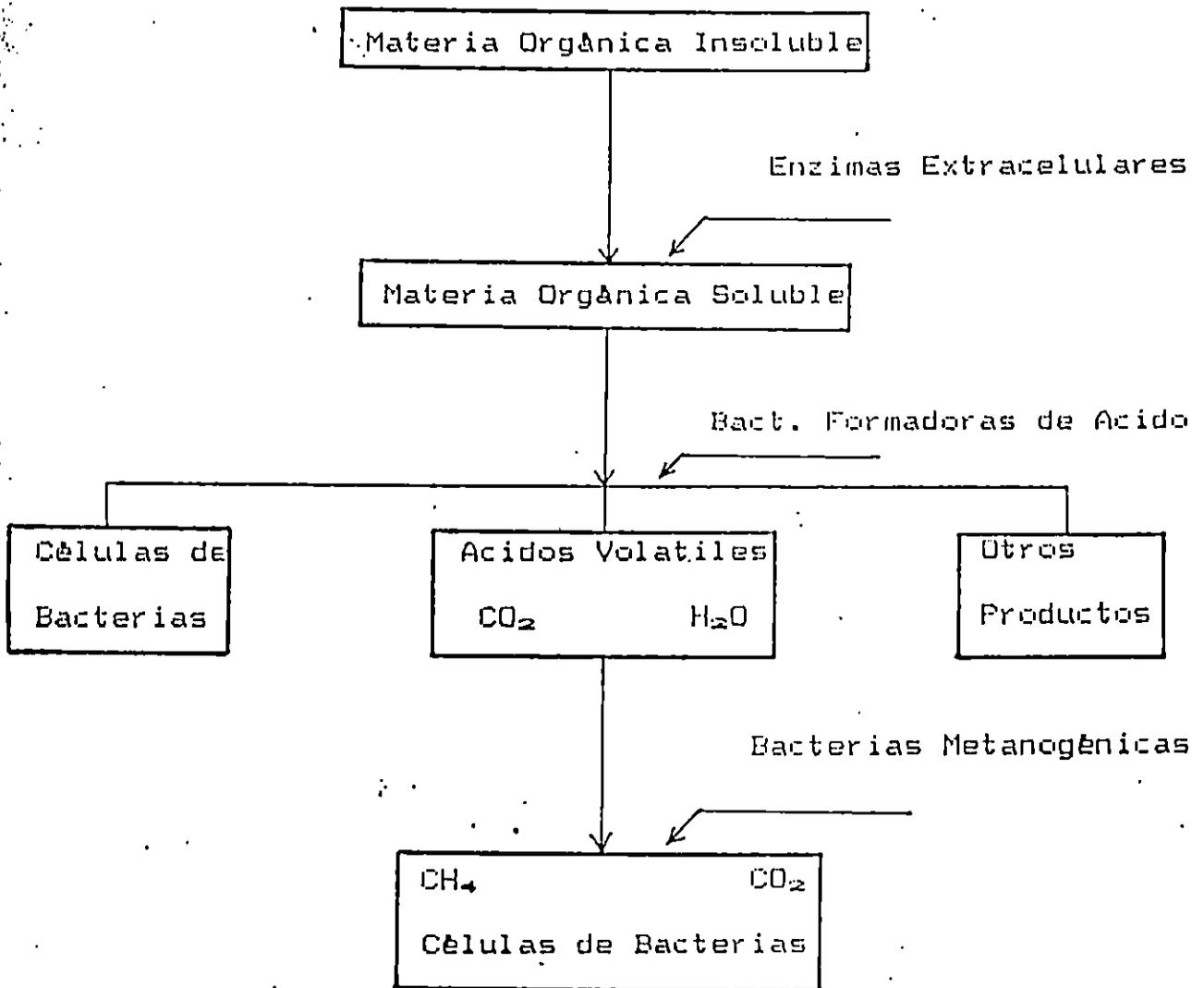
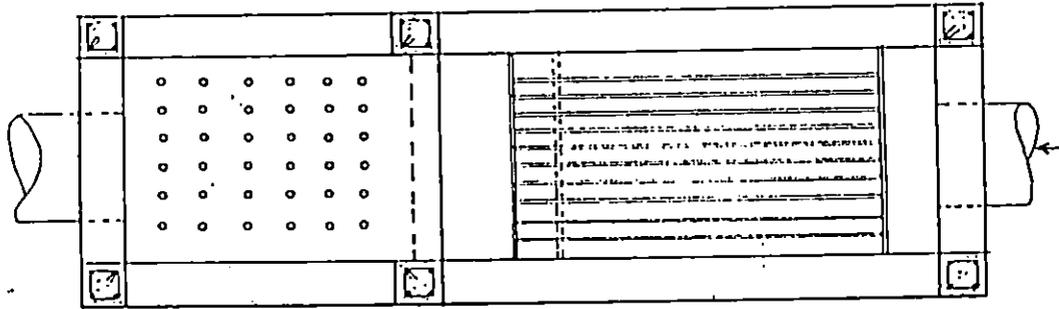
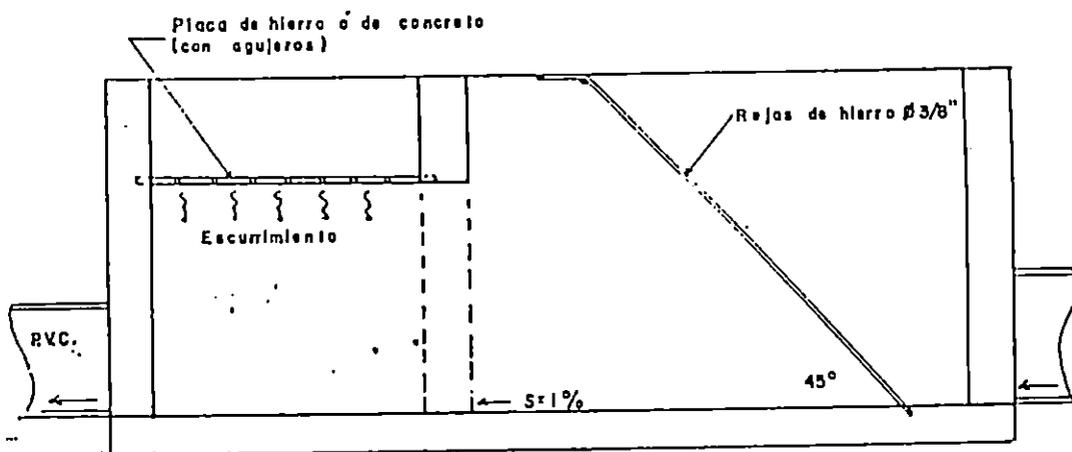


FIGURA 3. Mecanismo Secuencial del Tratamiento Anaeróbico.



VISTA EN PLANTA



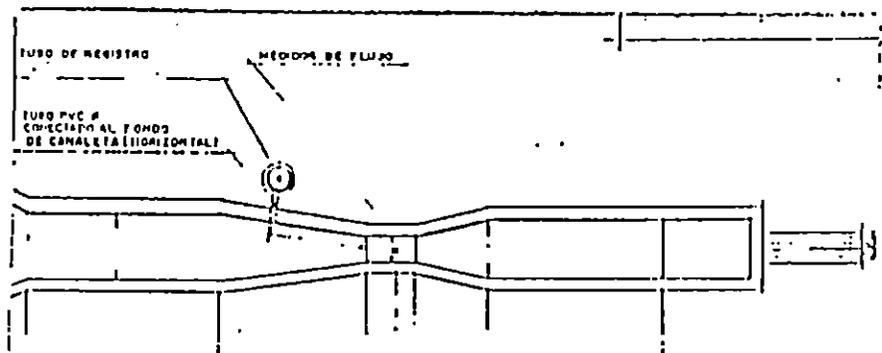
SECCION LONGITUDINAL

Colas en ml.

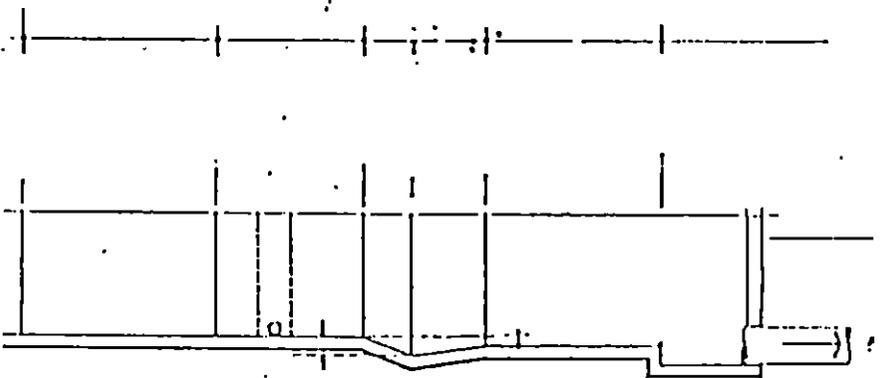
" TRAMPA PARA SOLIDOS "

SIN ESCALA

FIG. 4

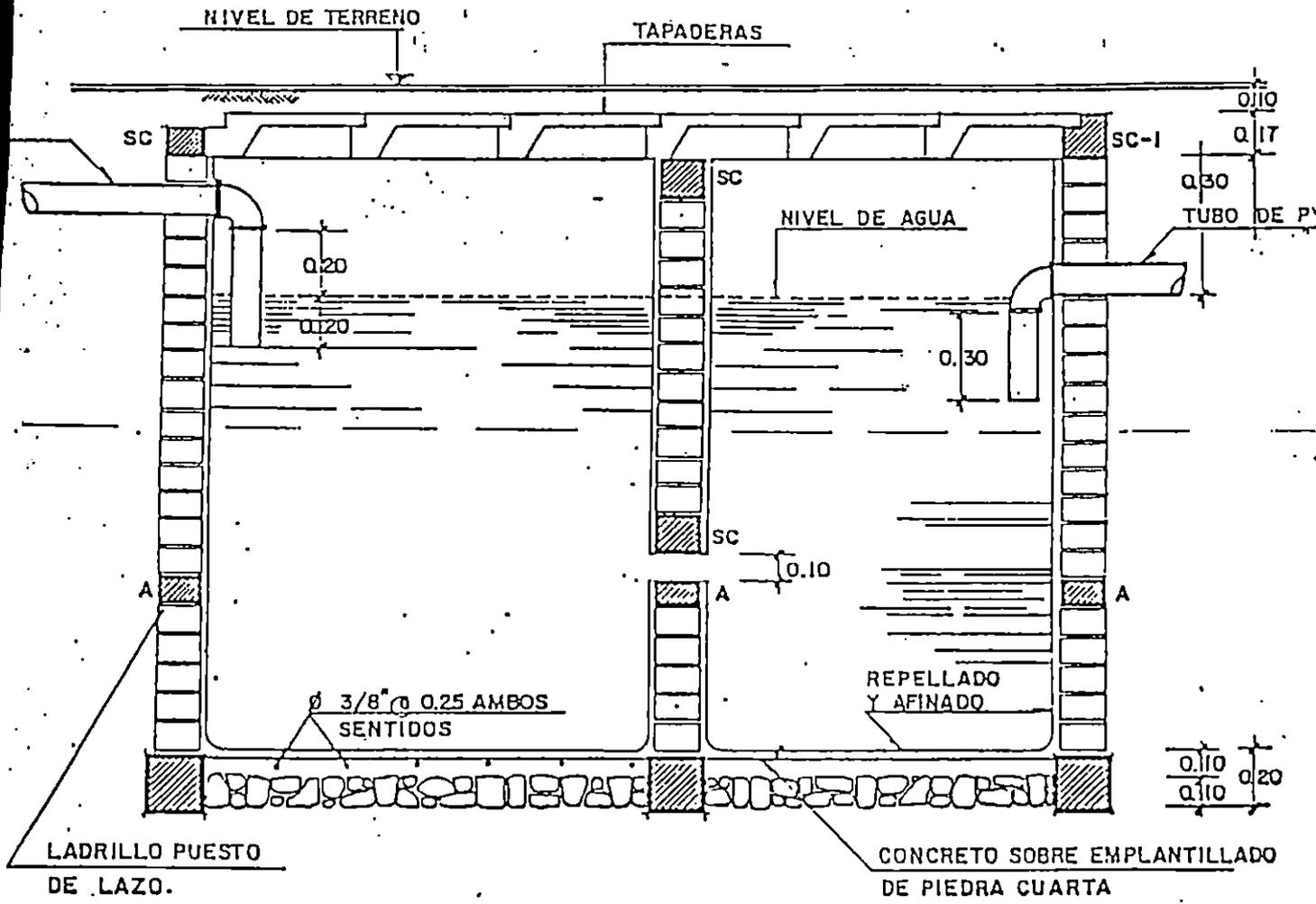


MEDIDOR PARSHALL



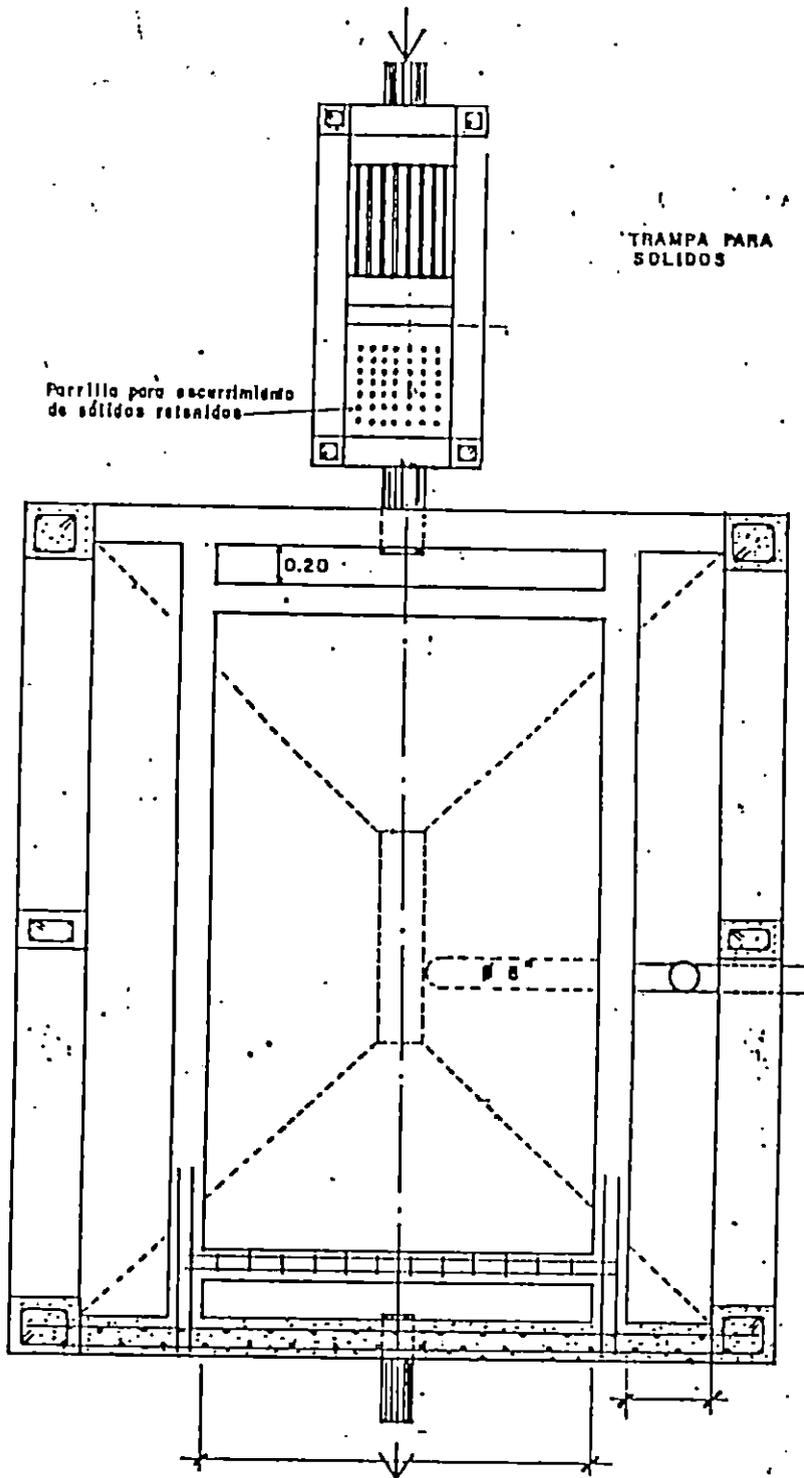
MEDIDOR DE CAUDAL
 PARSHALL

FIG. 5



FOSA SEPTICA

FIG. 6



"VISTA EN PLANTA DE TANQUE IMHOFF Y TRAMPA PARA SOLIDOS"

SIN ESC.

FIG. 7-A

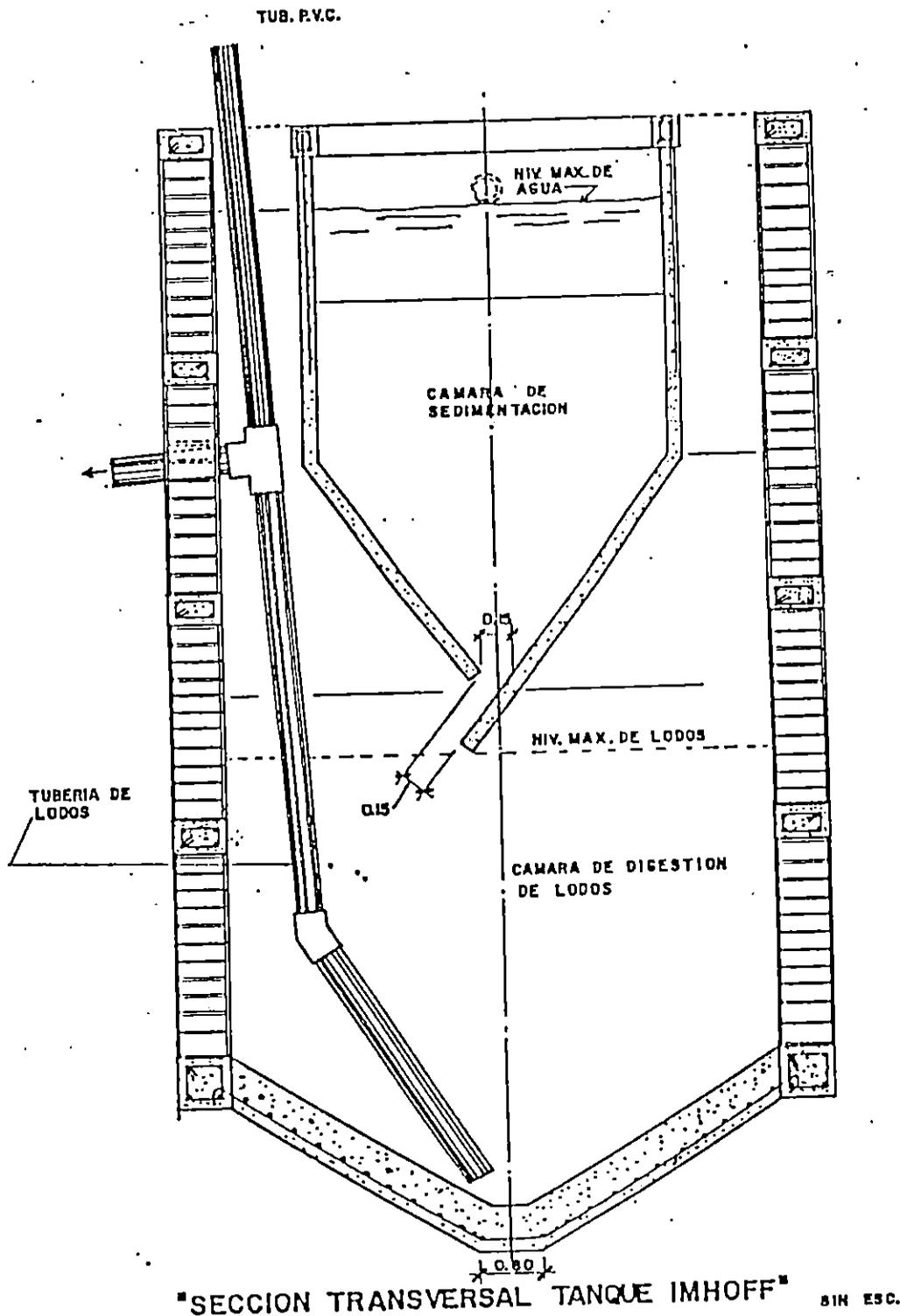
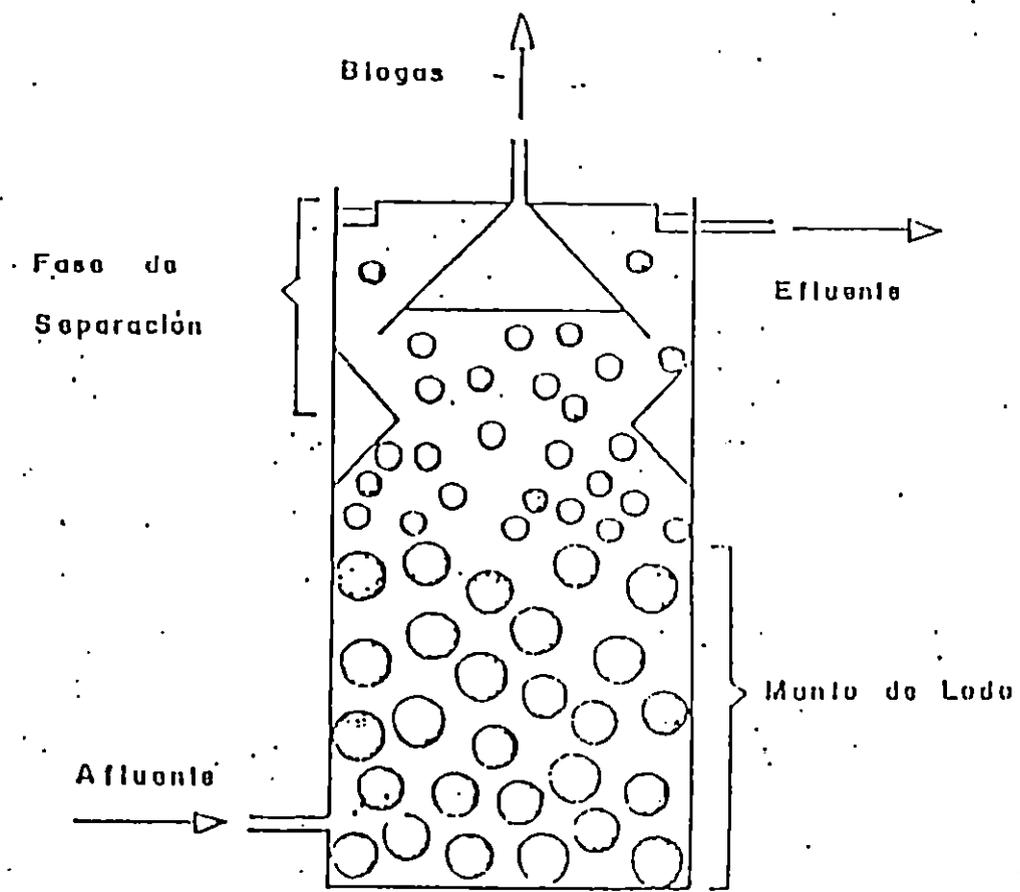
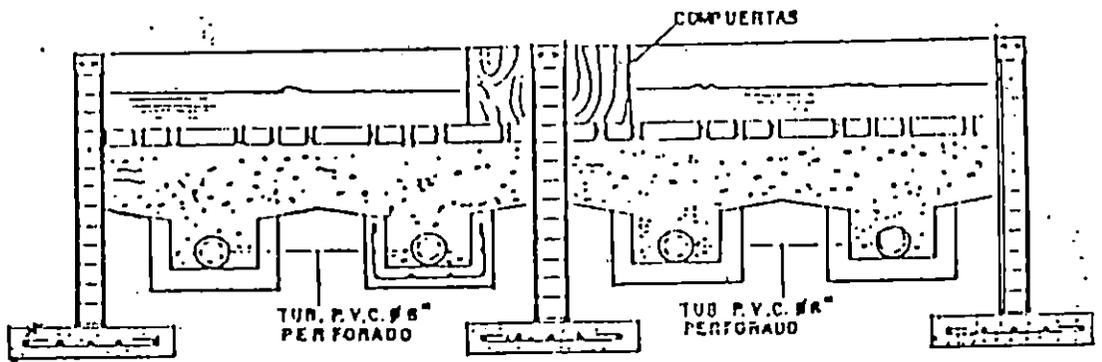


FIG. 7-B

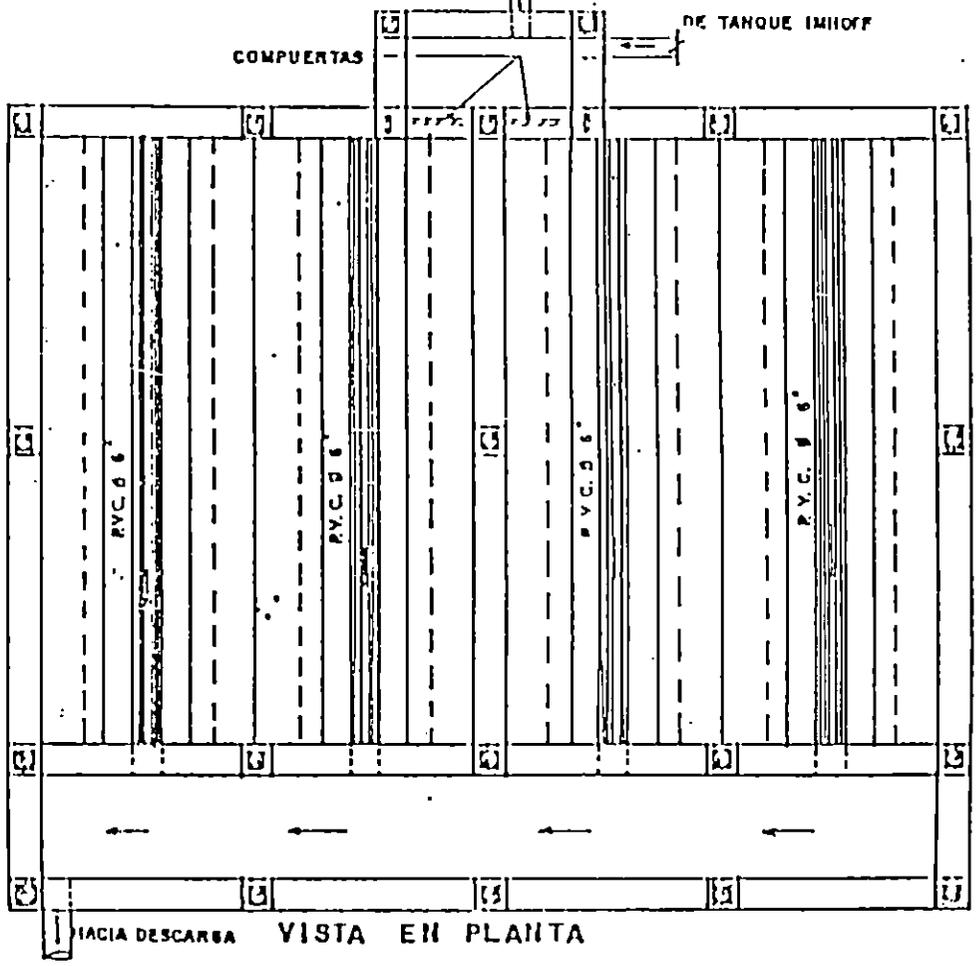


R.A.F.A.

FIG. 8



SECCION TRANSVERSAL
DE REACTOR

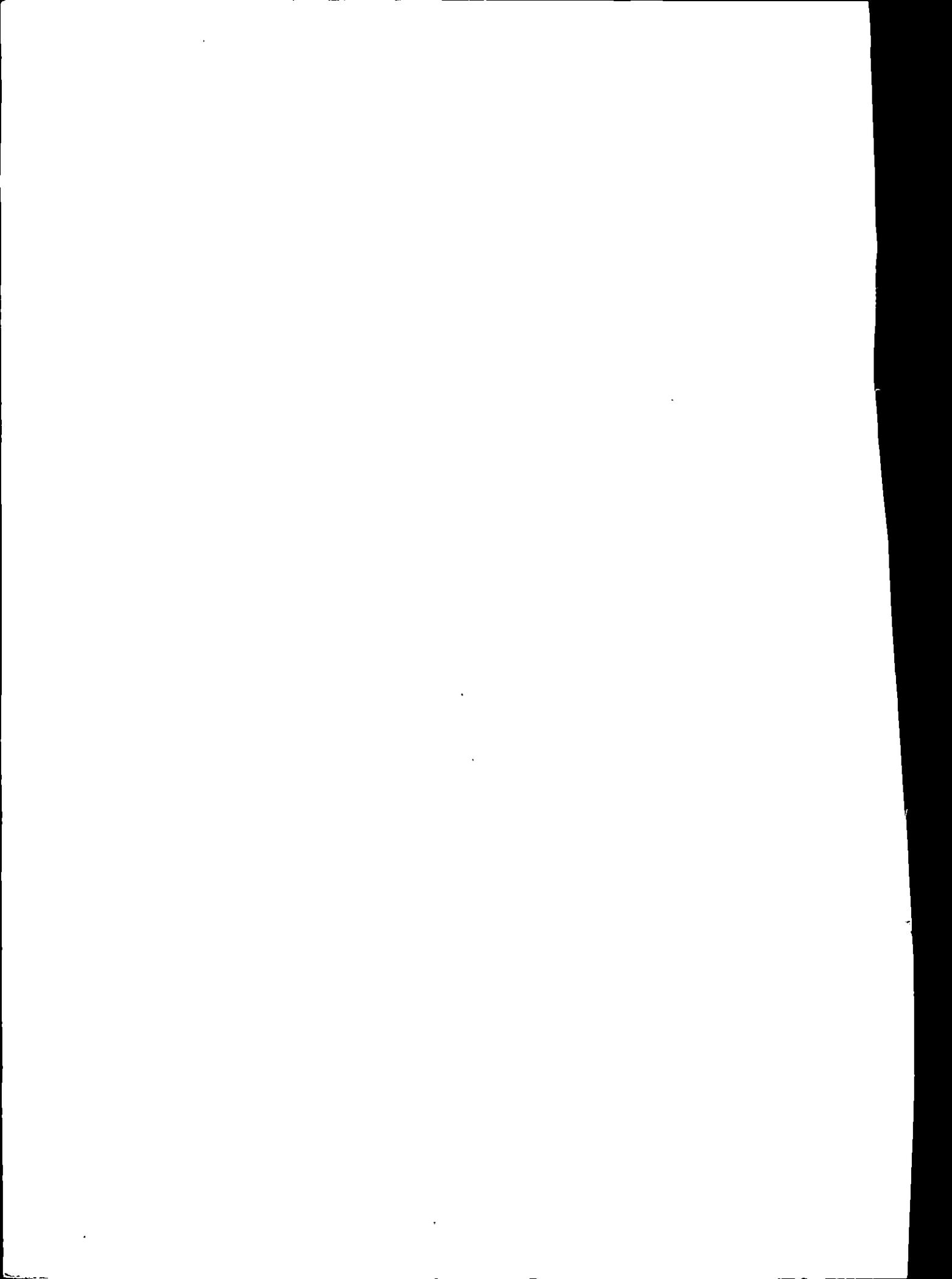


"LECHOS DE SECADO"

SIN ESC.

FIG. 9

ANEXO 6



Volumen del recip. = 5 galones
 Volumen del recip. = 22.61 litros

Fecha	Hora	Tiempo (seg)	Caudal lt/seg
03-10-91	9:00	85	0.27
	9:15	87	0.26
	9:30	91	0.25
	9:45	79	0.29
	10:00	84	0.27
08-10-91	15:00	103	0.22
	15:15	98	0.23
	15:30	112	0.20
	15:45	106	0.21
	16:00	94	0.24
11-10-91	7:00	305	0.07
	7:15	315	0.07
	7:30	298	0.08
	7:45	311	0.07
	8:00	309	0.07
16-10-91	14:00	72	0.31
	14:15	75	0.30
	14:30	71	0.32
	14:45	69	0.33
	15:00	73	0.31
21-10-91	8:00	156	0.14
	8:15	149	0.15
	8:30	151	0.15
	8:45	152	0.15
	9:00	149	0.15
26-10-91	9:00	194	0.12
	9:15	199	0.12
	9:30	195	0.12
	9:45	197	0.11
	10:00	187	0.12

Presentan:

Carlos Alfredo Zalcaña Trigueros
 José Carlos Rodríguez Chinchilla
 Mario Antonio Villalobos Vega
 José Efraín Córdoba Cerón

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO DE GRADUACION
 HOJA DE REGISTRO

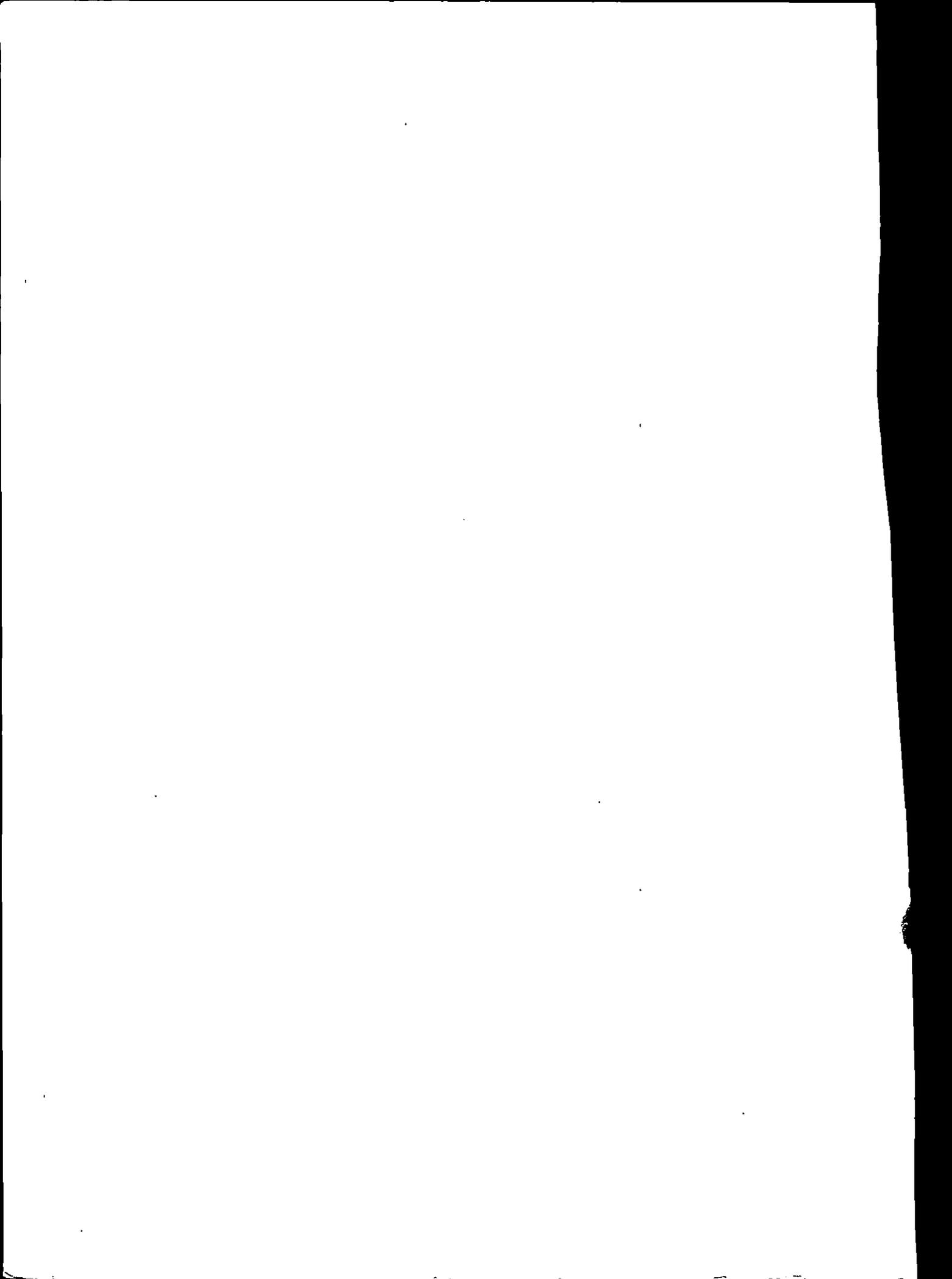
HOJA 2/3

Volumen del recip. = 5 galones
 Volumen del recip. = 22.61 litros

Fecha	Hora	Tiempo (seg)	Caudal lt/seg
29-10-91	11:00	70	0.32
	11:15	73	0.31
	11:30	78	0.29
	11:45	69	0.33
	12:00	71	0.32
01-11-91	16:00	60	0.38
	16:15	60	0.38
	16:30	57	0.40
	16:45	61	0.37
	17:00	63	0.36
06-11-91	12:00	55	0.41
	12:15	51	0.44
	12:30	58	0.39
	12:45	53	0.43
	13:00	54	0.42
09-11-91	16:00	167	0.14
	16:15	164	0.14
	16:30	162	0.14
	16:45	163	0.14
	17:00	168	0.13
14-11-91	10:00	63	0.36
	10:15	60	0.38
	10:30	58	0.39
	10:45	64	0.35
	11:00	65	0.35
19-11-91	18:30	322	0.07
	18:45	324	0.07
	19:00	323	0.07
	19:15	321	0.07

Presentan:

Carlos Alfredo Zalcaña Trigueros
 José Carlos Rodríguez Chinchilla
 Mario Antonio Villalobos Vega
 José Efraín Córdoba Cerón



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO DE GRADUACION
 HOJA DE REGISTRO

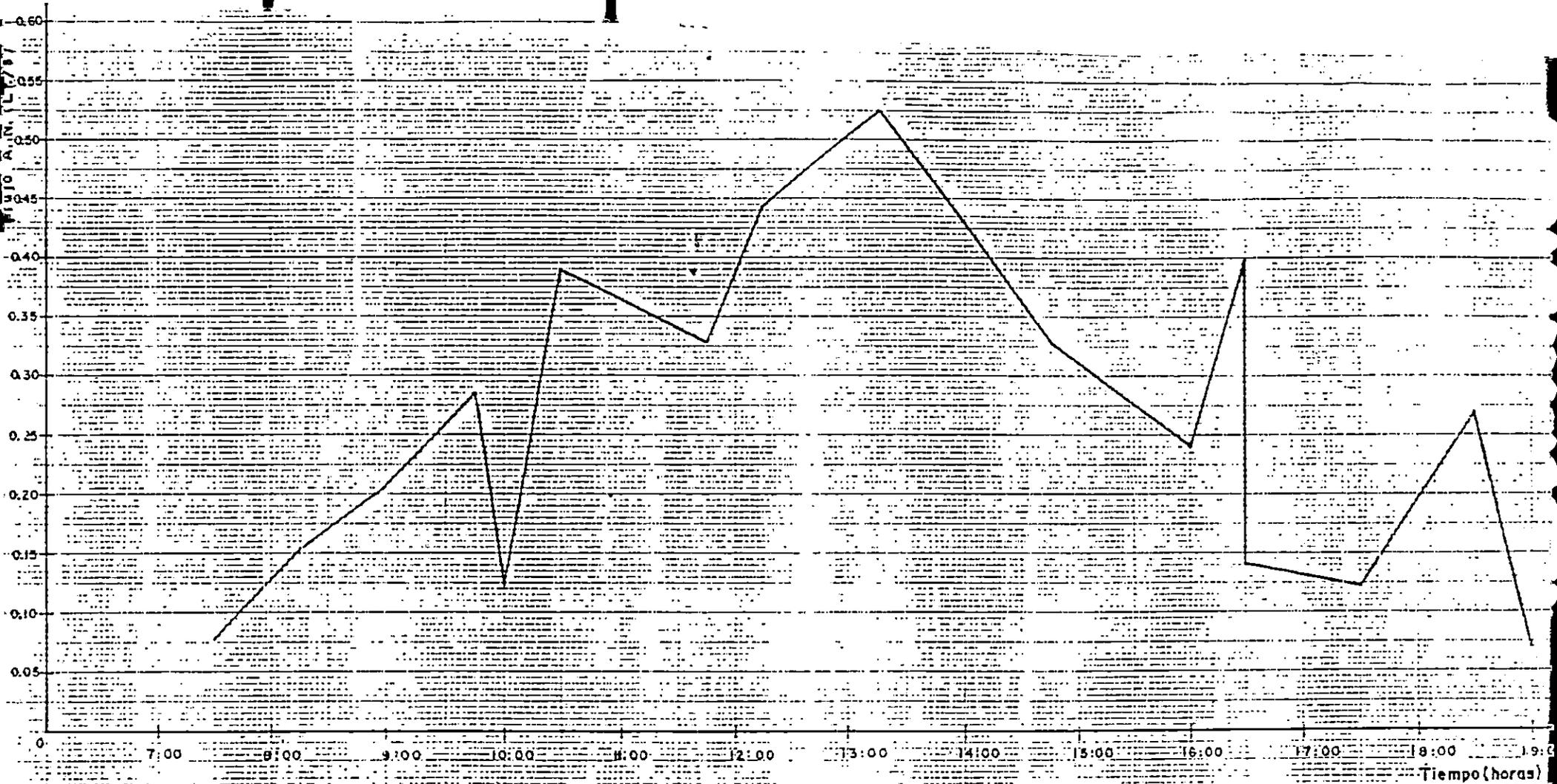
HOJA 3/3

Volumen del recip. = 5 galones
 Volumen del recip. = 22.61 litros

Fecha	Hora	Tiempo (seg)	Caudal lt/seg
22-11-91	17:00	190	0.12
	17:15	191	0.12
	17:30	188	0.12
	17:45	195	0.12
	18:00	189	0.12
26-11-91	13:00	45	0.50
	13:15	43	0.53
	13:30	43	0.53
	13:45	46	0.49
	14:00	44	0.51
29-11-91	18:00	88	0.26
	18:15	86	0.26
	18:30	84	0.27
	18:45	87	0.26
	19:00	89	0.25
30-11-91	08:00	117	0.19
	08:15	115	0.20
	08:30	116	0.19
	08:45	113	0.20
	09:00	110	0.21

Presentan:
 Carlos Alfredo Zalcaña Trigueros
 José Carlos Rodríguez Chinchilla
 Mario Antonio Villalobos Vega
 José Efraín Córdoba Cerón

Qmax. =	0.53	lt/seg
Qmin. =	0.07	lt/seg
Qprom =	0.25	lt/seg



VARIACION DEL FLUJO DE A. N. EN EL DIA (OCT. - NOV.)
UES-1992