

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
PARA AGUAS NEGRAS (LLANOS DE AZACUALPILLA)**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
PARA AGUAS NEGRAS (LLANOS DE AZACUALPILLA)



MANOLO BENDFELDT CASTILLO

Trabajo de graduación presentado para
optar al título de Ingeniero Civil
en el grado de Licenciado

GUATEMALA
1,998

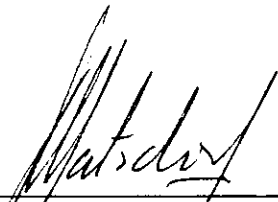
Vo. Bo. :

(f) 
Ingeniero Rafael Girón
Asesor

Tribunal:

(f) 
Ingeniero Rafael Girón

(f) 
Ingeniero Rodolfo González

(f) 
Ingeniero Franklin Matzdorf

Guatemala, 12 de Octubre de 1998.

DEDICATORIA

A temprana edad me enseñaron que Dios es primero, por lo que dedico esta tesis a El, quien siempre me ha ayudado y ha sido mi principal asesor. A El estoy agradecido por sobre todas las cosas.

A mis padres, que siempre me han apoyado en todo, ya que sin ayuda hubiera sido imposible alcanzar esta meta. A mis hermanos, por ser mis compañeros y amigos.

Agradezco a mis maestros, que me brindaron su conocimiento y experiencia. Al Colegio Americano, en el cual aprendí desde temprana edad, y a la Universidad del Valle que me brindó los conocimientos que hoy me transforman en profesional.

CONTENIDO

	Paginas
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos	3
III. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS NEGRAS	4
A. Composición de la aguas negras o residuales	9
B. Tratamiento primario	13
1. Mallas, mallas trituradoras, dilaceradores y tamices	13
2. Tanques de sedimentación	19
3. Flotación	27
C. Tratamiento secundario	28
1. Proceso de los lodos activados	29
2. Filtros de escurrimiento o filtros percoladores	32
3. Tratamiento por lagunaje	35
4. Cloración de las aguas negras	39
D. Tratamientos modernos o plantas paquete	41
E. Disposición de las aguas negras	45
1. Irrigación superficial y al subsuelo	46
2. Infiltración al suelo y o recarga de las aguas Subterráneas	46
3. Dilución de las aguas negras a un río, lago u Océano	49

IV. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	52
A. Localización geográfica	52
B. Limite territorial	52
C. Descripción general del área del proyecto	52
D. Descripción del medio ambiente	54
E. Drenajes naturales	55
V. DESCRIPCION DEL PROYECTO	56
VI. DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	61
A. Volumen de diseño	61
B. Tamaño y descripción del terreno a emplearse	64
C. Método de tratamiento	66
D. Diseño de la planta de tratamiento	69
1. Diseño de las mallas	70
2. Diseño de los tanques de sedimentación primario y secundario	68
3. Diseño de los filtros percoladores	74
4. Diseño de los tanques de cloración	77
5. Diseño de los canales y la tubería	78
E. Alcances del proyecto	80
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
A. Conclusiones	84
B. Recomendaciones	85
VIII. BIBLIOGRAFIA	86
Apéndice A	88

Apéndice B

101

Apéndice C

110

LISTA DE TABLAS

Tabla	Paginas
2.1 Porcentajes de eliminación de contaminantes por medio de los diferentes métodos de tratamiento	6
2.2 Indicador de uso de energía y uso de equipo mecánico en los distintos procesos de tratamiento	8
2.3 Composición típica del agua residual doméstica	10
2.4 Valores de contaminantes presentes en las aguas negras antes de ser tratadas	11
2.5 Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las aguas negras servidas municipales, acuerdo gubernativo 60-89	12
2.6 Dosis para diversas aplicaciones de la cloración en la recogida, tratamiento y evacuación de agua residual	41
4.1 Distribución de las áreas del proyecto “Llanos de Azacualpilla”	57
5.1 Valores de contaminantes, porcentajes de eliminación en cada proceso, y valores de contaminantes a la salida	82

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica	Paginas
2.1 Malla de barras de limpieza manual	14
2.2 Malla trituradora	15
2.3 Instalación típica de un dilacerador	16
2.4 Tamiz inclinado estático autolimpiante	18
2.5 Tanque desarenador de limpieza manual	21
2.6 Diagrama típico de tanque de sedimentación rectangular de limpieza manual	23
2.7 Diagrama típico de tanque imhoff	24
2.8 Diagrama típico de fosa séptica convencional de dos tanques	26
2.9 Diagrama típico de proceso de los lodos activados	31
2.10 Detalles de un filtro de escurrimiento	33
2.11 Representación esquemática de la relación simbiótica entre algas y bacterias en una laguna aerobia	36
2.12 Representación esquemática de un estanque de estabilización	37
2.13 Diagrama típico de planta paquete, método de la aireación prolongada	43
5.1 Diagrama de la planta de tratamiento típica	68

I. INTRODUCCION:

Dulce o salada, en el agua radica el principio de la vida de nuestro planeta. La dulce, la que utilizamos para beber, es un recurso agotable que hay que ahorrar. De la salada depende buena parte de nuestra subsistencia como fuente imprescindible de recursos alimenticios y reguladora de la calidad del aire que respiramos. Mantenerla limpia es un compromiso de todos.

El agua es fuente de vida y su presencia es fundamental en nuestro planeta, tanto para la vida humana y animal como para la de las plantas. Por tanto, cuando el agua está contaminada, ésta resulta en un trastorno biológico.

Las recientes necesidades de la población, los cambios climatológicos y la alarmante contaminación de ríos y acuíferos subterráneos han inquietado a la población. El agua comienza a ser un bien escaso, el cual hay que administrar y depurar para poder así protegerlo con cuidado antes que sea demasiado tarde.

Toda comunidad produce residuos sólidos como líquidos; los residuos líquidos son conocidos como aguas residuales o aguas negras. La contaminación de una fuente de abastecimiento o una potencial fuente de abastecimiento mediante la descarga de aguas negras no tratadas o inadecuadamente tratadas, no puede ser tolerada.

Desde el punto de vista de su origen, podemos definir el agua residual como la combinación de residuos líquidos o aguas portadoras de residuos. Estos residuos pueden provenir de: residencias, industrias, o comercios, y

eventualmente pueden agregarse aguas subterráneas, superficiales y pluviales. En forma simple podemos decir que el agua negra es agua potable a la que se le ha agregado una serie de contaminantes, que ocasionan una degradación del líquido, y si éste no es tratado adecuadamente, una degradación del medio ambiente.

Los efectos de las aguas residuales, en general dañinos, se pueden dividir en: efectos sobre la salud, efectos sobre el medio y efectos sobre los cuerpos de agua.

La naturaleza tiene procedimientos que tienden a restaurar la calidad del agua, por medio de los sistemas de tratamiento. Lo que se desea es establecer las condiciones para que estos procesos se realicen en los lugares y en el tiempo deseado a fin de disminuir el daño ocasionado al agua. El principal objetivo del tratamiento es estabilizar las aguas negras sin producir olor o molestias y sin poner en peligro la salud.

El tratamiento de las aguas negras es, a la fecha, un campo sin límites. En la actualidad se cuenta con la capacidad de poder tratar las aguas residuales y obtener agua 100% potable. A medida que el grado de tratamiento de las aguas residuales es mayor, el costo de la planta y su costo de operación aumentan. Tomando en cuenta estos parámetros, la única solución a la problemática nacional es adecuar los sistemas de tratamiento a la realidad física y socioeconómica de las comunidades donde las mismas se implementarán.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Debido a las recientes necesidades de la población, y la alarmante contaminación de ríos y acuíferos subterráneos, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, el objetivo general del presente trabajo es:

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado a la realidad física y socioeconómica del lugar “Llanos de Azacualpilla”, a fin de estabilizar las aguas sin causar molestias, sin poner en peligro la salud y creando el menor impacto ambiental posible.

B. Objetivos específicos:

Diseñar una planta de tratamiento para las aguas negras que:

- Reduzca al mínimo los contaminantes en el agua.
- Las aguas al salir de la planta cumplan con los requisitos mínimos exigidos por la ley, “Decreto Gubernativo 60-89”.
- No necesite de equipo mecánico para su funcionamiento.
- No necesite de energía eléctrica para su funcionamiento.
- Su costo de operación sea bajo.
- No necesite mano de obra con un alto grado de tecnificación, para su funcionamiento.

III. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS NEGRAS

Puesto que las aguas negras no están purificadas, el uso del termino purificación de aguas negras es incorrecto. Los primeros fines del tratamiento de aguas negras son estabilizarlas sin producir olor o molestia y sin poner en peligro la salud, debido a que el abastecimiento de agua se está convirtiendo en un problema crítico. La contaminación de una fuente de abastecimiento mediante la descarga de aguas negras no tratadas o inadecuadamente tratadas, pone en peligro las fuentes de aguas nacionales, ésto no puede ser tolerado. En la actualidad se están utilizando muchas corrientes alternas para el abastecimiento de agua, y en algunos casos existe el doble uso del agua relativamente frecuente. Los métodos para tratar las aguas negras tienen limitaciones, y es necesario reducir la carga de contaminación de éstas, mediante un tratamiento adecuado de las mismas.

La naturaleza tiene procedimientos que tienden a restaurar la calidad del agua, para nuestros propósitos. Lo que deseamos es llegar a establecer las condiciones para que estos procesos se realicen en los lugares y en el tiempo que deseamos a fin de disminuir el daño que hemos ocasionado agregando al agua una serie de elementos que producen la contaminación.

Los principales procesos de la naturaleza son:

- sedimentación: que se produce cuando la velocidad del agua disminuye lo suficiente en pozas de ríos, estanques y lagos.
- Filtración: en las capas del subsuelo

- **Estabilización:** de la materia orgánica, para lo que hay dos procesos: anaeróbicos y aeróbicos.

También es importante mencionar que existe absorción o uso de elementos por las plantas, así como reacciones químicas entre elementos del subsuelo y los de las aguas negras.

Usando los procesos naturales se han desarrollado plantas de tratamiento de las aguas negras al utilizar los procesos naturales en la forma más eficiente y económica. Los procesos se clasifican por su grado de tratamiento en:

- **Primario:** por los que se reducen los sólidos sedimentables y algo de la DBO, los elementos patógenos no se reducen en forma sensible. El tratamiento primario por lo general se lleva a cabo por medio de mallas y sedimentación.
- **Secundario:** en los que se obtiene un grado más avanzado de remoción de los sólidos al transformar los orgánicos no sedimentables y parte de los que están en solución en sólidos sedimentables, se reduce notablemente la DBO. En estos procesos hay una reducción notoria en los patógenos, pero no se remueven nutrientes. Los tratamientos secundarios involucran procesos de filtración, oxidación biológica de la materia orgánica y desinfección.
- **Terciarios:** en los que se remueven los sólidos en solución y nutrientes, en especial nitratos, fosfatos o

también los metales pesados. Los tratamientos terciarios involucran procesos de coagulación, zeolitas e intercambio de iones.

En la actualidad se han diseñado muchos sistemas de tratamientos de aguas negras, entre más avanzados más complejos y requieren de mayor energía para operar. Los tratamientos más conocidos se muestran en el cuadro siguiente, para los cuales se indican los efectos de mejora que producen.

Tabla 2.1
Porcentajes de Eliminación de Contaminantes por medio de los
Diferentes Métodos de Tratamientos

TRATAMIENTO	Sol. Sed.	DBO	Patog.	Sol. Soluc	Nutrientes
Fosa séptica	40-60%	50%	10-15%		
Imhoff	50-60%	50%	5-15%		
Sedim + digestor	50-60%	50%	10-15%		
RAFA	40-60%	50%	10-15%	0-5%	
RAP	50-60%	50%	10-15%	0-10%	
Lagunas anaerobias	50-80%	60%	30-40%		
Lagunas facultativas	60-90%	80%	40-90%		
Filtros perc. + sed.	90-100%	85%	20-30%	40-60%	5%
Lodos activados	90-100%	85%	30-40%	50-70%	5%
Lodos activados + sed.	90-100%	85%	30-40%	60-75%	10-30%

Zanjas oxidación	80-100%	80%	20-30%	40-70%	
Filtros biológicos	80-100%	80%	30-40%	50-70%	10-30%
Irrigación superficial	-100%	90%	60-90%	90-99%	10-70%
Irrigación subsuelo	-100%	95%	90-99%	90-99%	10-80%
Infiltración suelo	-100%	95%	70-99%	50-99%	0-80%
Lagunas aeróbicas	95-100%	95%	50-99%		
Filtración en arena	95-100%	95%	50-99%	40-70%	
Cloración			95-99%		
Coagulación					50-99%
Zeolitas					50-90%
Intercambio de iones					80-99%

Es importante mencionar las limitaciones de tipo tecnológico y económico que se tienen en las comunidades de nuestro país para que funcionen los sistemas de tratamiento de aguas negras. Aunque el costo de la planta de tratamiento sea cero, si se requiere de conocimientos avanzados, es difícil que la planta opere; también si la planta requiere del uso de energía eléctrica, o combustible, su funcionamiento es abandonado por el costo de éste; y si se requiere de equipos mecánicos como bombas o compresores al descomponerse éstos, por lo general son abandonados. En el momento de diseñar un sistema de tratamiento es de gran importancia tomar en cuenta los factores antes mencionados, puesto que de no ser así, el proyecto puede fracasar y perderse la inversión. A continuación se presentan los distintos procesos del tratamiento con un indicador de uso de energía y

otro de equipo mecánico, usando los comparadores “alto”, “medio”, “bajo”, y “muy bajo”.

Tabla 2.2

**Indicador de uso de Energía y uso de Equipo Mecánico en los distintos
Procesos de Tratamiento**

TRATAMIENTO	Energía	Equipo Mecánico
Fosa séptica	Muy Bajo	Muy Bajo
Imhoff	Muy Bajo	Muy Bajo
Sedimentación + digestor	Bajo	Bajo
RAFA	Muy Bajo	Muy Bajo-Medio
RAP	Muy Bajo	Muy Bajo-Bajo
Lagunas anaerobias	Muy Bajo	Muy Bajo
Lagunas facultativas	Muy Bajo	Muy Bajo-Medio
Filtros perc. + sed.	Bajo	Medio
Lodos activados	Alto	Alto
Lodos activados + sed.	Alto	Alto
Zanjas oxidación	Alto	Medio
Filtros biológicos	Bajo	Bajo
Irrigación superficial	Bajo-Alto	Bajo-Alto
Irrigación subsuelo	Bajo-Medio	Bajo-Medio
Infiltración suelo	Muy Bajo	Muy Bajo
Lagunas aeróbicas	Muy Bajo-Alto	Muy Bajo-Alto
Filtración en arena	Medio	Bajo-Medio
Cloración	Alto	Medio

Coagulación	Muy Alto	Muy Alto
Zeolitas	Muy Alto	Muy Alto
Intercambio de iones	Muy Alto	Muy Alto

En el cuadro anterior no se pretende hacer una comparación económica sino solamente hacer resaltar los factores que intervienen en el proceso. Así en muchos lugares, al hacer un análisis económico de las soluciones en un período de tiempo dado y deseando obtener los mismos resultados, por lo general resultan más favorables las opciones de alto uso de energía y equipo. Sin embargo si no se cuenta con la capacidad técnica necesaria para su operación, la inversión resulta inútil. Así que al diseñar un sistema de tratamiento, lo que nos interesa es utilizar los procesos que no requieren de energía y que usen poco equipo mecánico, que aunque resulten en inversiones iniciales altas, obtendremos plantas de tratamiento con una operación simple y con bajos costos de operación.

A. Composición de las aguas negras o residuales

Las aguas negras domésticas no son un producto estandarizado, pero sus variaciones en características están usualmente dentro de límites razonables. Los desperdicios industriales difieren de las aguas negras en que no están de acuerdo con algún patrón estándar, varían en composición y características, no sólo para productos diferentes sino también para plantas que fabriquen el mismo producto. Además de las pruebas de laboratorio, es necesario un estudio de campo para determinar qué desperdicios industriales,

se están vaciando, cuáles son sus características y cómo afectan el proceso de tratamiento, tanto en costo como en calidad de los efluentes.

Las aguas negras domésticas contienen aguas utilizadas para el lavado, descargas de inodoros, fragmento de comidas, desperdicios originados por el lavado de ropa y las bañeras, jabón y grasas. Todo lo anterior se resume en una contribución diaria de materia orgánica, la cual por persona es aproximadamente 0.17 lb de DBO a 5 días.

La composición de las aguas negras se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales. Los constituyentes físicos, químicos y biológicos más comunes en las aguas residuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.3
Composición Típica del Agua Residual Doméstica

Contaminantes	Unidades	Debil	Media	Fuerte
Sólidos totales (S.T)	Mg/litro	350	720	1200
Sólidos disueltos totales (S.D.T)	Mg/litro	250	500	850
Sólidos en suspensión (S.S)	Mg/litro	100	220	350
Demanda bioquímica de oxígeno DBO 5	Mg/litro	110	220	400
Carbono orgánico total	Mg/litro	80	160	290
Demanda química de oxígeno DQO	Mg/litro	250	500	1000
Nitrógeno total en la forma N	Mg/litro	20	40	85
Fósforo total en la forma P	Mg/litro	4	8	15
Grasa	Mg/litro	50	100	150
Coliformes totales	No./litro	10^7	10^8	10^9

En función de las concentraciones de estos constituyentes, podemos clasificar el agua residual como concentrada débil, media o fuerte, y así partir de estos datos para el diseño. Los datos de esta tabla también se pueden utilizar como datos empíricos para el diseño de la planta de tratamiento, aunque se recomienda hacer el análisis de las aguas negras para obtener un dato más exacto. Según CONADEL la propuesta de parámetros para aguas residuales de origen doméstico utiliza las siguientes referencias para obtener los valores que ellos adoptan o sugieren para el diseño:

Tabla 2.4
Valores de Contaminantes Presentes en las Aguas Negras
Antes de ser Tratadas

	Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días	Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Disueltos Totales
Según Metcal & Eddy	300-400 mg/l	750-1000 mg/l	270-350 mg/l
Según CEPIS	300 mg/l	600 mg/l	350 mg/l
Según INFOM	300 mg/l	500 mg/l	
Propuesta para el Diseño	300 mg/l	500 mg/l	500 mg/l

Al saber los valores de los contaminantes y el caudal de diseño, ya se tiene la mitad de la información. El resto de datos para el diseño están dados por los valores máximos permisibles de contaminantes presentes en el agua ya tratada. Según el acuerdo gubernativo 60-89, reglamento de requisitos

mínimos y límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas.

Tabla 2.5: Límites Máximos Permisibles de Contaminación para la Descarga de las Aguas Servidas Municipales Acuerdo Gubernativo 60-89

Muestra	Sólidos Sedimentables	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) cinco días
Muestra tomada al azar	1.0 ml/l		
Muestra, mezcla de 2 hrs máximo	1.0 ml/l	500 mg/l	250 mg/l
Muestra, mezcla de 24 hrs máximo	1.0 ml/l	450 mg/l	200 mg/l

Como se puede observar, estos valores son demasiado altos, pues el agua negra ingresa a una planta de tratamiento casi con los mismos valores, y si se diseñara con el fin de alcanzar éstos, no habría que darle casi ningún tratamiento al agua. En la actualidad la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), está elaborando la propuesta de ley para cambiar este artículo, y crear un reglamento de aguas para Guatemala, puesto que en la actualidad no se cuenta con uno. CONAMA, en todos los proyectos está

sugiriendo que se utilicen los valores incluidos en la propuesta de CONADEL, los cuales son:

DBO 5 días	70 mg/l
DQO	110 mg/l
Sólidos disueltos Totales	60 mg/l

Estos valores propuestos por CONADEL son mucho más reales, y no producen un impacto ambiental tan severo. Ahora ya teniendo los valores de los contaminantes en la entrada y los deseados en la salida ya se puede proceder al diseño de la planta de tratamiento.

B. Tratamiento primario:

El tratamiento preliminar es el primer tratamiento que recibe el agua al entrar a una planta de tratamiento y éste consiste básicamente en detener los sólidos flotantes y sólidos de mayor tamaño por medio de rejas o tamices y luego detener los sólidos menores o arenillas por medio de sedimentación.

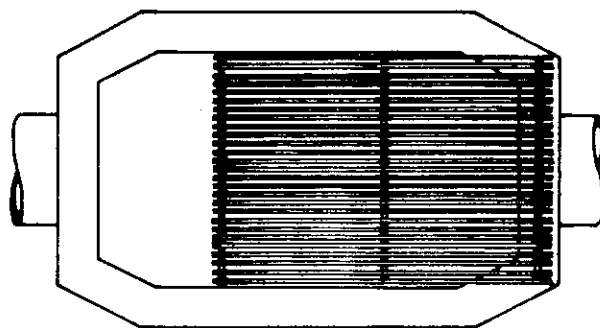
1. Mallas, mallas trituradoras, dilaceradores y tamices

Existen dos métodos para tratar los sólidos orgánicos flotantes grandes de las aguas negras. Un método es interponer una malla, usualmente de barras de hierro, en el canal por el que escurren las aguas negras. El material retenido en la malla se elimina y después se entierra, quema o muele. El otro método es usar un dilacerador o malla cortadora que intercepta el material grueso, lo corta en pequeños pedazos que regresan al flujo.

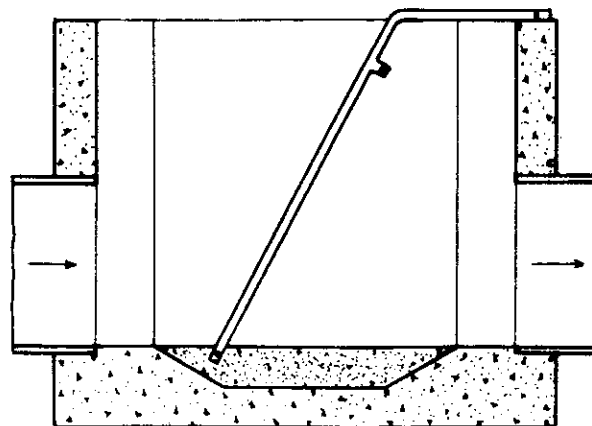
Una malla de barras está formada de barras de hierro planas colocadas de canto en el canal de entrada. Las barras están separadas entre 1" y 1.5", o 2.5 cm y 3.75 cm y el tamaño de ésta debe escogerse de modo que el área de las proyecciones verticales de las aberturas para el flujo del agua sea por lo menos el doble del área de la alcantarilla. Estas mallas por lo general se colocan inclinadas en la dirección del flujo, y el ángulo con la horizontal varía entre 30° y 60° , aunque también se utilizan mallas verticales. Las mallas de varillas pueden limpiarse a mano o automáticamente, por medio de un proceso mecánico.

Gráfica 2.1:

Malla de Barras de Limpieza Manual



PLANTA



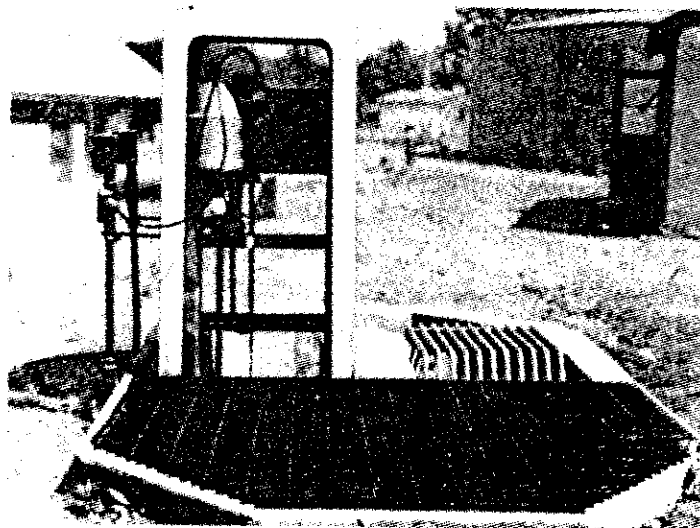
CORTE

Los dispositivos dilaceradores y las mallas cortadoras se emplean para triturar (dilacerar) los sólidos gruesos con objeto de mejorar las operaciones y procesos que se llevan a cabo después de éstos, y para eliminar los problemas que producen los diferentes tamaños de los sólidos presentes en el agua residual. Los sólidos se trituran para conseguir partículas de tamaño menor y más uniforme que se eliminan en los procesos que se llevan a cabo luego de éstos. Teóricamente los dilaceradores pueden eliminar la complicada y desagradable tarea del manejo y eliminación de los residuos.

Las mallas cortadoras utilizan el mismo principio de las mallas, ya sea vertical u horizontal, y su diferencia básica con las demás mallas es que cuentan con dientes para triturar los sólidos, de modo que puedan volverse a enviar a la corriente de aguas negras. En algunos modelos la malla gira y en otros la malla es estacionaria. El uso de un triturador elimina el problema de la disposición de los desperdicios retenidos por las mallas.

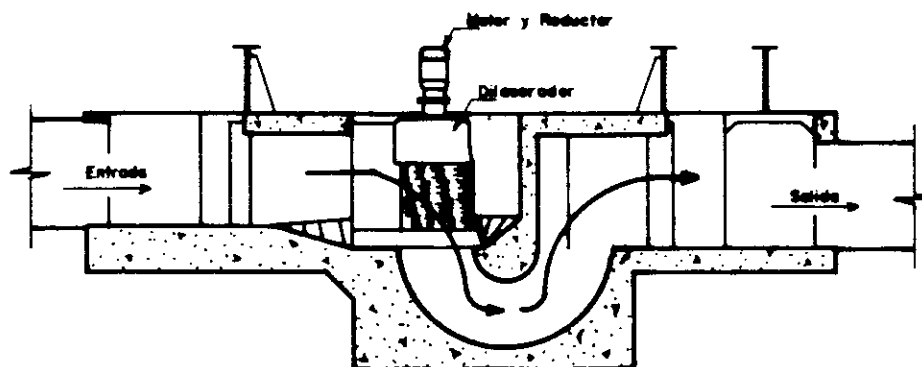
Gráfica 2.2:

Malla Trituradora



Los dilaceradores consisten básicamente en un tamiz vertical rotatorio en forma de tambor con ranuras de 6 mm en el caso de máquinas pequeñas y de 10 mm en el caso de máquinas grandes. El material grueso se hace pasar por un peine fino donde es triturado por los dientes cortantes y barras de cizalla del tambor giratorio. Las pequeñas partículas cizalladas atraviesan las ranuras del tambor y salen hacia el canal por una abertura en el fondo mediante un sifón invertido. También existen otros tipos de dilaceradores donde por medio de una rejilla curva o semicircular, se interceptan los sólidos de mayor tamaño los cuales son cortados por un mecanismo de cuchillas o discos cortantes mientras los sólidos de menor tamaño circulan por el espacio libre que se encuentra entre la rejilla y la cuchilla. Básicamente los dilaceradores varían en el método de trituración que emplean.

Gráfica 2.3:
Instalación Típica de un Dilacerador



Sobre los dilaceradores y las mallas cortadoras existe una gran diferencia de opiniones: una línea de pensamiento argumenta que una vez un sólido es retenido o retirado del agua, éste ya no se debe reintegrar a la misma. La otra corriente de pensamiento sostiene que una vez triturados los sólidos el manejo de los mismos en los procesos siguientes resulta más sencillo. Tanto los dilaceradores y las mallas cortadoras deben estar colocados en una desviación o canal doble, de modo que las aguas negras puedan ser desviadas a su alrededor en caso de falla mecánica o de mantenimiento.

En las plantas de tratamiento luego de las mallas, las mallas cortadoras o los dilaceradores, generalmente las aguas residuales pasan a un proceso de sedimentación lo cual se podría considerar como la última fase del tratamiento primario. La sedimentación se lleva a cabo por medio de tanques desarenadores, tanques de sedimentación o por medio de tamices los cuales también funcionan bien para la sedimentación.

Los tamices al igual que las mallas y los dilaceradores son equipos mecánicos que llevan a cabo un proceso por medio del cual se detienen los sólidos y los sacan. Los primeros tamices gruesos empleados son de tipo circular o de disco, equipados con una placa de bronce con aberturas en forma de ranuras con anchuras menores a los 3 mm. Actualmente pocas plantas utilizan estos tamices sino cuentan con tamices estáticos o de tambor giratorio, provistos de una malla fina de acero inoxidable o de un material no férreo y sus aberturas oscilan entre 2 mm y 6 mm.

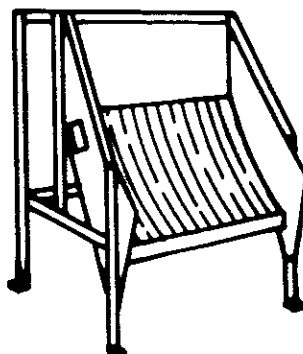
Los tamices estáticos de malla en sección de cuña tienen aberturas entre 0.2 mm y 1.2 mm, se diseñan para caudales entre 400 y 1,200

litros/m²*min de superficie de tamiz y generan pérdidas de carga entre 1.2 m y 2.1 m. La malla filtrante está formada por barras de acero inoxidable en sección de cuña, orientadas de forma que la parte plana de aquella está encarada al flujo. Estos tamices necesitan de un área considerable y se deben limpiar una o dos veces al día con agua caliente a presión o un agente desengrasador para eliminar las acumulaciones de grasa.

En los tamices de tambor la malla se monta sobre un cilindro giratorio que se coloca en un canal. El agua residual puede circular bien entrando por un extremo del tambor y saliendo por el mismo a través de la malla filtrante, recogiendo los sólidos en la superficie interior de ésta, o entrando por la parte superior del elemento y saliendo por el interior del tambor, produciéndose la recogida de los sólidos en la superficie exterior del tamiz. Como medio separador se emplea una malla ranurada o con sección de cuña construidas de acero inoxidable. Los sólidos se evacuan en continuo y éstos producen una pérdida de carga entre 0.8 m y 1.4 m.

Gráfica 2.4:

Tamiz Inclinado Estático Autolimpiante



La cantidad y características de sólidos retenidos por medio de los tamices, depende del tipo de tamiz empleado y de las aberturas del mismo, y varía entre 0.0375 y $0.225 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^3$ de agua residual tratada, lo cual es equivalente al 5 % y el 15 % de la materia suspendida. Para eliminar los sólidos retenidos en los tamices éstos se pueden: transportar a vertederos, soterrar en la propia planta, incinerar o eliminar en conjunto con los residuos sólidos urbanos.

2. Tanques de Sedimentación:

Entre los tanques de sedimentación existe una gran cantidad de diferentes opciones, aunque el principio es el mismo. El principio de todos los tanques de sedimentación es disminuir la velocidad del flujo de agua y así los sólidos más pesados, ya sea orgánicos o inorgánicos se sedimenten en el fondo de estos tanques. Esto se puede llevar a cabo ya sea por procedimientos de llenado y vaciado o por un flujo continuo a través de un tanque.

Los tanques desarenadores y el equipo para eliminar las arenillas, eliminan la materia inorgánica mayor de $.2\text{mm}$ aproximadamente. La sedimentación se utiliza para eliminar las partículas más pequeñas de materia mineral, así como los sólidos orgánicos más ligeros. La rapidez de sedimentación en las partículas de sólidos está afectada por la viscosidad del agua, que es una función de la temperatura, por la gravedad específica de las partículas, por su resistencia a la sedimentación debida a la fricción y por otros factores. La práctica más usual es fundamentar el proyecto de los tanques sedimentadores en la experiencia previa que se refiere a la velocidad

de flujo y el período de retención. El proceso de sedimentación es óptimo cuando se cuenta con un flujo uniforme y no hay corrientes que interfieran con la sedimentación de las partículas. Con las velocidades de flujo adecuadas y los períodos de retención normales, la sedimentación eliminará de 50 a 70 % de los sólidos en suspensión y de 30 a 50 % de la DBO de las aguas negras de entrada.

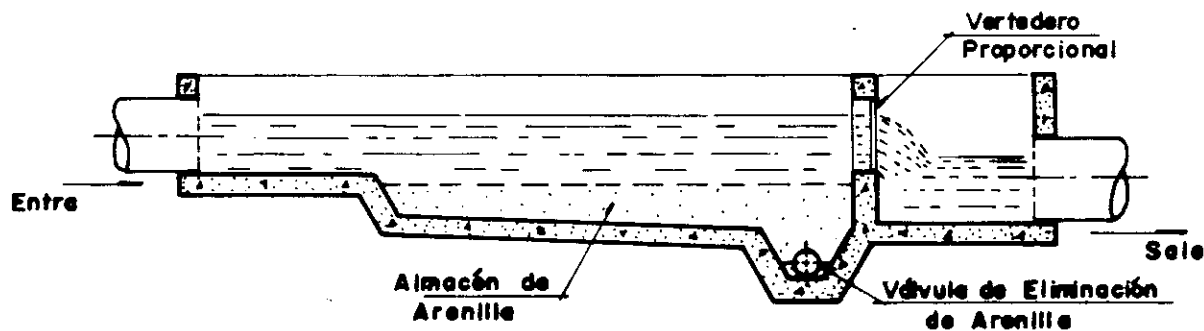
La sedimentación puede efectuarse en tanques de flujo vertical o de flujo horizontal. En un tanque de flujo vertical las aguas negras entran por el fondo y fluyen hacia arriba. En un tanque rectangular las aguas negras entran por un extremo y salen por el otro, y en un tanque circular entran por el centro y fluyen hacia los extremos. Prácticamente todos los tanques utilizados en los métodos modernos de tratamiento son de tipo horizontal y continuo. Entre los diferentes tipos de tanques de sedimentación que se utilizan en las plantas de tratamiento se encuentran: los tanques desarenadores, los tanques de sedimentación horizontal, tanques circulares, tanques inhoff, las fosas sépticas, y los tanques de flujo vertical.

Los tanques desarenadores por lo general se construyen como mínimo en pares debido a que su limpieza por lo general es manual. Estos tanques por lo general se diseñan para un período de retención de 1 minuto, una velocidad de un pie por segundo o 0.3m/seg y una longitud necesaria de 60 pies o 18 metros. Estos tanques tienen por objeto detener las arenillas y los sólidos mas pesados, dejando pasar los sólidos orgánicos que son retenidos en procesos posteriores. Estos tanques por lo general tienen el suelo en desnivel con una válvula de limpieza en la parte más profunda y un vertedero en la salida para regular la velocidad de flujo; otro tipo de tanque

desarenador funciona por medio de un canal en zigzag en el cual se disminuye la velocidad de flujo a las aguas negras provocando así la sedimentación.

Gráfica 2.5:

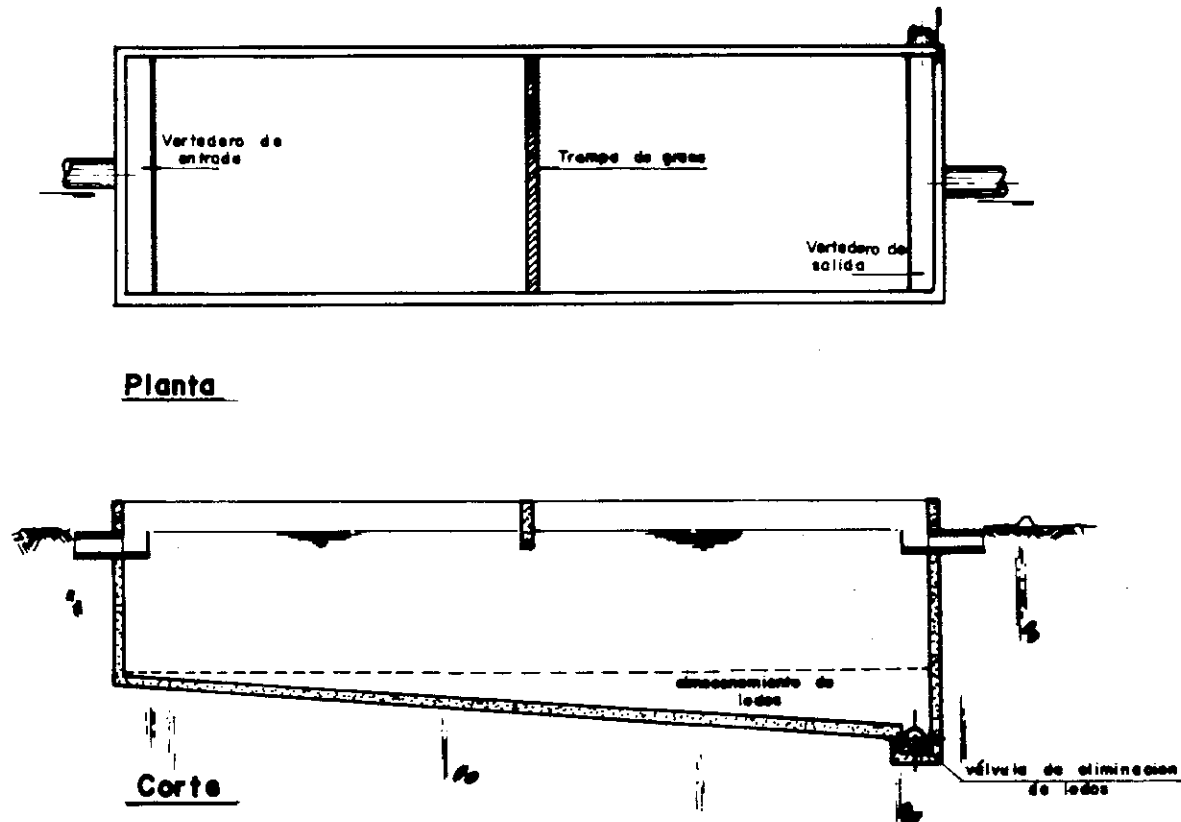
Tanque Desarenador de Limpieza Manual



Tanto los tanques de sedimentación horizontal como los tanques circulares se diseñan basados en los mismos principios. Uno de los principios y el más importante en el diseño de los tanques de sedimentación es la velocidad de flujo, la cual es el volumen de flujo en una unidad de tiempo por unidad de área de tanque Usualmente se expresa en galones por día por pie cuadrado área de tanque (gpd) o litros día por metro cuadrado (l/m^2 día). Para plantas pequeñas se utiliza una velocidad de flujo de 600 gpd o 20,000 gl/m^2 día y para plantas de tratamiento más grandes de 1 millón de galones diarios se utilizan velocidades de flujo entre 800 y 1000 gpd o entre 30,000 y 40,000 l/m^2 día. Con la velocidad de flujo establecida, el período de retención está regido por la profundidad del tanque. Generalmente la profundidad mínima del agua se fija en 7 pies o 2.1 metros

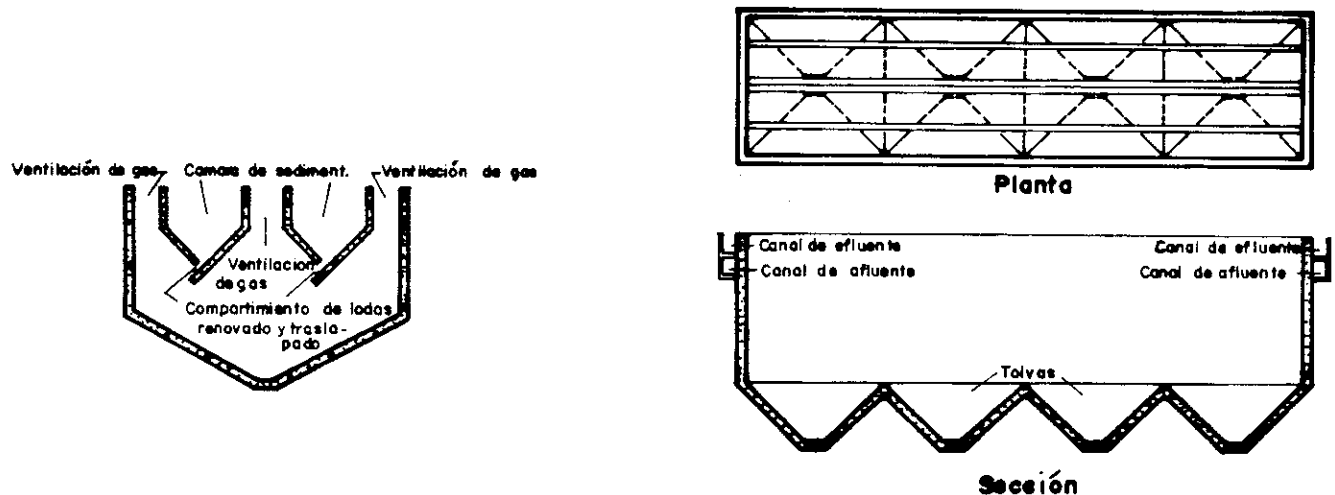
aunque la profundidad por lo general es más profunda. Otro factor importante en los tanques de sedimentación es que siempre se tienen que construir por lo menos dos, y estos deben ser capaces para manejar el flujo máximo de aguas negras, aunque su diseño está basado en el flujo promedio durante un período de 16 a 24 horas. La boca de entrada de un tanque debe proyectarse para llevar las aguas dentro del tanque a baja velocidad y a todo lo ancho del tanque. El vertedero de salida también se debe diseñar para evacuar el flujo a todo el ancho del tanque o en toda la periferia de éste. La velocidad de entrada y de salida en el tanque deben de estar entre 10,000 y 15,000 galones por día por pie lineal de vertedero o boca, o 120,000 y 180,000 l/m lineal de vertedero, para así evitar que se genere turbulencia y ésto afecte la sedimentación. Tanto los tanques de sedimentación horizontales como los circulares pueden ser limpiados manualmente o por medio de aparatos mecánicos. Cuando la eliminación de los lodos se hace por medio de un método mecánico la limpieza del tanque es continua. Cuando los lodos son eliminados manualmente ésto puede hacerse diariamente, cada varios días o incluso hasta cada 15 días dependiendo del diseño y la capacidad de almacenamiento de los mismos. Los tanques de sedimentación rectangulares de limpieza manual pueden ser de dos formas: con el piso plano inclinado hacia una sola dirección y una salida en el fondo o pueden tener varias fosas de limpieza cada una con su respectivo desfogue.

Gráfica 2.6: Diagrama Típico de Tanque de Sedimentación Rectangular de Limpieza Manual



Los tanques Imhoff, al igual que los otros tanques de sedimentación, son tanques donde toma lugar la sedimentación, el almacenamiento y además la digestión de los lodos. En los tanques imhoff, la cámara de sedimentación está provista de una ranura, por la cual los sólidos pasan al compartimiento inferior, donde éstos se almacenan y ocurre el proceso de digestión. Los tanques imhoff tienen la ventaja que no necesitan de equipo mecánico, aunque sí necesitan mantenimiento y atención. Los tanques imhoff son de gran utilidad para plantas de tratamiento de tamaño mediano alrededor de 300,000 gpd o 1,150 metros cúbicos día y cuando no se puede contar con operadores bien entrenados.

Gráfica 2.7:
Diagrama Típico de Tanque Imhoff

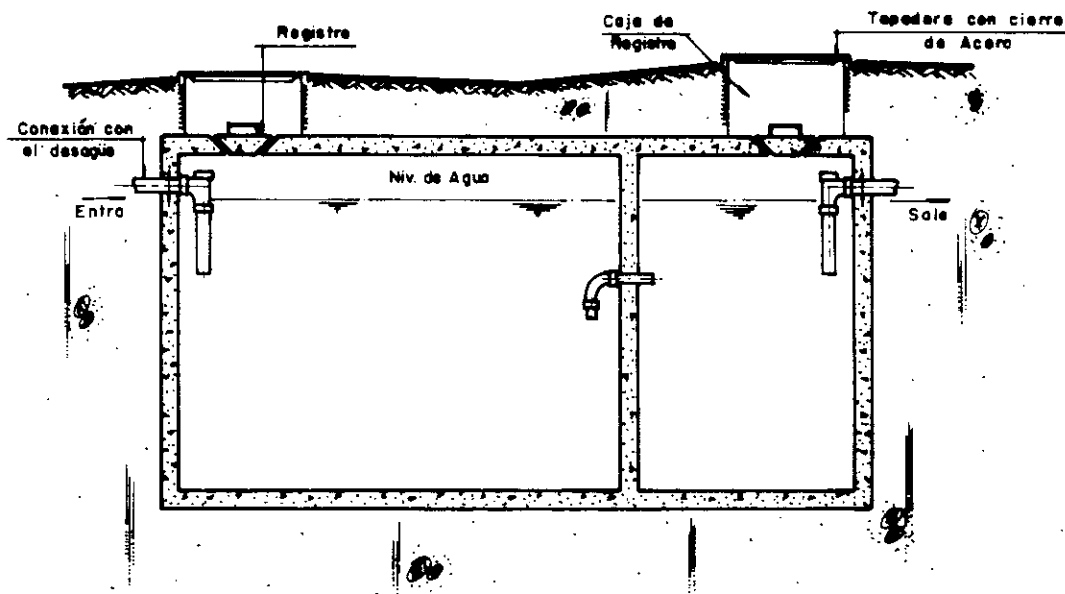


Para el diseño de un tanque imhoff, se toman en cuenta varios factores como es la pendiente del fondo de una cámara de sedimentación, el ancho vertical y horizontal de la ranura, el largo del traslape, el volumen de almacenamiento de los lodos, las entradas de aire para ventilación de los gases, etc. La pendiente del fondo de una cámara de sedimentación o cámara de escurrimiento, no debe ser menor de 45° , y de preferencia si es cercana a los 60° , para que los sólidos resbalen inmediatamente al almacenamiento y a la digestión. La ranura por la cual los sólidos resbalan, por lo general tiene las relaciones $1 \frac{1}{2}$ vertical para 1 horizontal y un ancho de 6" (0.15m); el traslape también es de 6". Las profundidades por lo general varían entre 25 y 35 pies. La capacidad de almacenamiento de lodos y del compartimento debe ser de 3 a 5 pies cúbicos por persona, y debe estar ubicada por lo menos 18" por debajo de la ranura. El periodo de retención del compartimento de sedimentación debe ser de 2 a 3 horas.

Debido a que los lodos almacenados están en un periodo de digestión, éstos desprenden gases, por lo que el área horizontal de orificios usualmente es el 30% o más del área de la cámara de lodos. La cámara de almacenamiento por lo general se divide en tolvas las cuales tienen sus paredes inclinadas hacia un sólo punto, por el cual se evacuan los lodos por medio de una llave. Los lodos se retiran de las tolvas por medio de presión hidrostática, y por lo general se hace ésto una vez al mes o en periodos más largos dependiendo de la cantidad de lodos almacenados. Los tanque imhoff son de gran utilidad debido a que no requieren aparatos mecánicos ni mano de obra demasiado calificada aunque tienen la gran desventaja de que necesitan alturas grandes por lo que no siempre se pueden utilizar.

Las fosas sépticas al igual que otros tanques de sedimentación son tanques donde toma lugar la sedimentación. Además de la sedimentación en las fosas sépticas, se da la eliminación de flotantes y actúa también como digestor anaerobio. Hoy en día la mayoría de las fosas sépticas se construyen de concreto, o fibra de vidrio, aunque también se han construido fosas de acero, madera de secuoya o polietileno. Una fosa séptica básicamente es un tanque de sedimentación cerrado, de uno o varios compartimientos en donde las aguas negras disminuyen de velocidad dándose así sedimentación de los sólidos. La salida de las aguas negras no se encuentra en la parte superior sino por debajo del nivel de agua creando así que se detengan los sólidos flotantes y las grasas. Las fosas también pueden tener cortinas intermedias colgadas o a nivel del suelo provocando así que la trayectoria de las aguas negras sea mayor.

Gráfica 2.8: Diagrama Típico de Fosa Séptica Convencional de dos Tanques



La efectividad de las fosas sépticas depende más del propio diseño del tanque que de la configuración subdividida. Un método más eficaz para la reducción de la descarga de sólidos no tratados al efluente, consiste en instalar una cámara de filtración en la salida de la fosa, la cual actúa como un segundo compartimento a la vez que filtra las aguas que salen.

Los sólidos sedimentables presentes en las aguas negras que ingresan a la fosa, se sedimentan formando una capa de fango en la parte inferior, las grasas y demás materiales ligeros flotan en la superficie dando lugar a una capa de espuma. El agua residual decantada y libre de flotantes que se halla entre la capa de fango y la de espuma fluye hacia un tratamiento secundario o a su disposición. La materia orgánica que queda retenida en la parte inferior del tanque sufre un proceso de descomposición anaerobia y facultativa y se convierte en compuestos y gases más estables como el

dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrogeno. Las fosas sépticas no suelen producir mal olor, a pesar de que la descomposición anaerobia reduce el volumen de la materia sólida acumulada, siempre existe una acumulación de fango en el interior de aquel.

El diseño de las fosas sépticas involucra conceptos de tanques sedimentadores y otros parámetros. La profundidad mínima del líquido debe ser 1.07 metros, el largo debe ser aproximadamente el doble del ancho, entre el líquido y la loza debe haber un espacio mínimo de 0.3 metros, la boca de la salida de agua se debe sumergir 0.35 la altura del líquido, el tamaño debe estar dada en función del caudal tomando como parámetros un flujo entre 1,000-1,600 litros por metro cuadrado de fosa, y un volumen en función del flujo entre 800-1,050 litros por metro cúbico de fosa. Estas medidas son del área interna de la fosa, es recomendable limpiar la fosa cada 5 años.

3. Flotación:

Otro método utilizado para el tratamiento de las aguas negras es la flotación. La flotación a diferencia de la sedimentación consiste en llevar las partículas a la superficie donde éstas se recogen. La flotación es una operación unitaria que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en las aguas negras. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto burbuja-partícula de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, y además favorece la ascensión de las partículas cuya densidad es inferior, como el caso del aceite y otras materias orgánicas

de baja densidad. La flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida. La principal ventaja de la flotación es que permite eliminar en poco tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta. Una vez las partículas se hallan en la superficie, pueden recogerse mediante un rascador superficial.

La aplicación práctica de la flotación en las instalaciones de tratamiento residuales urbanas, se limita al uso de aire como agente responsable del fenómeno. Las burbujas se añaden ya sea por inyección de aire en el líquido sometido a presión y posteriormente liberación de la presión a que está sometido, aireación a presión atmosférica, o saturación con aire a presión atmosférica, seguido de la aplicación de vacío al líquido. En todos estos sistemas, es posible mejorar el grado de eliminación y rendimiento mediante la introducción de aditivos químicos. La flotación es de gran importancia para la eliminación de aceites o sólidos no sedimentables, por lo que también es un proceso de gran utilidad en el tratamiento de las aguas negras que tengan altos contenidos de éstos.

C. Tratamiento secundario

A diferencia de los tratamientos primarios que sólo utilizan procesos físicos, los tratamientos secundarios utilizan diferentes procesos en donde se le cambia la estructura a la materia. Una vez cambiada la estructura de la materia orgánica, ésta es fácilmente sedimentada, detenida, o destruida. Entre los diferentes procesos de tratamiento secundarios se involucran procesos químicos, y biológicos. Algunos de los métodos de tratamientos

secundarios son: lodos activados, filtros percoladores, lagunas, cloración y algunos métodos modernos que involucran plantas paquete.

1. Proceso de los lodos activados

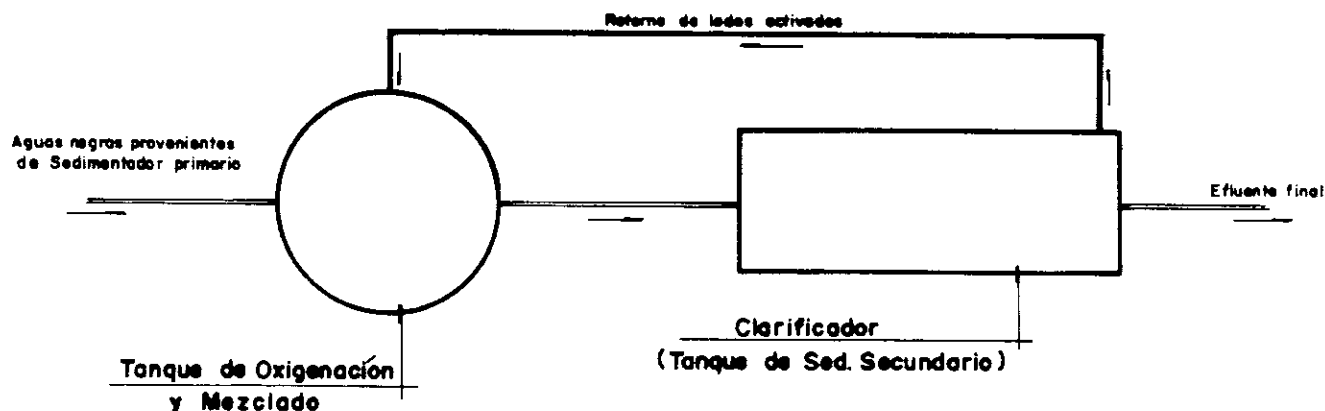
El tratamiento de aguas negras por medio del proceso de los lodos activados es uno de los más complicados, puesto que requiere de gran cantidad de equipo mecánico, por lo que utiliza mucha energía, y necesita de personal con un alto grado de entrenamiento o de tecnificación para poder operar correctamente la planta. Por el otro lado este proceso es uno de los más efectivos en el tratamiento de las aguas negras; una planta bien manejada y bien diseñada reduce entre un 90 a 100% de los sólidos sedimentables, en un 85 % la DBO, entre un 30 a 40% los patógenos, entre un 60-75% los sólidos en solución, y de un 10 a un 30% los nutrientes, lo cual lo convierte en uno de los procesos más completos para el tratamiento de las aguas.

El proceso de los lodos activados para el tratamiento de las aguas negras está basado en proporcionar un contacto íntimo entre los lodos biológicamente activados y las aguas negras. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar la materia orgánica. Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas negras, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión tienden a cuagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez. Durante todo el proceso es necesario mantener un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga

una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas negras y los lodos, y que la relación del volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas negras que está bajo tratamiento se mantenga constante.

Como primera fase en el proceso de los lodos activados, las aguas se someten a un tratamiento primario para eliminar las sustancias que pueden producir interferencias en el proceso como son: las arenillas, los sólidos gruesos, las grasas y los aceites. Luego de haberse eliminado estas sustancias las aguas fluyen a tanques de mezclado y aireación en donde los lodos activados, que regresan del tanque de sedimentación final se añaden en proporciones variables que oscilan entre el 20 y el 30% del volumen de las aguas negras que ingresan. En este tanque de aireación la mezcla de aguas negras y lodos se agita y airea mediante la aplicación de aire comprimido o por medio de aparatos mecánicos especialmente diseñados, o utilizando una combinación de los dos métodos. El período en que se someten las aguas a esta aireación varía entre 6 y 8 horas dependiendo del tipo de aguas negras, así como el grado de tratamiento deseado. Una vez las aguas negras se encuentran bien aireadas y mezcladas, esta mezcla pasa a tanques de sedimentación final en donde los lodos activados son separados de las aguas ya tratadas por medio de sedimentación. De estos tanques de sedimentación final sale el agua ya tratada, parte de los lodos activados regresan al tanque de aireación y mezclado para tratar el agua que está entrando y parte se bombea a digestores o se elimina.

Gráfica 2.9: Diagrama Típico del Proceso de Los Lodos Activados



En el momento del diseño de los tanques de mezclado y aireación se pueden utilizar las siguientes prácticas empíricas como base del proyecto:

- Eliminación del 90% de la DBO aplicada.
- Dos o mas unidades de aireación equipadas para una operación independiente
- Profundidad de los tanques de aireación entre 3 y 4.5 metros.
- Existencia de cuando menos 2 mg/lit de aire en todas partes del tanque.
- Una aplicación de aire difuso de 60 metro³/ kg de DBO eliminada, la cual no suele ser mayor del 50% de los sólidos en suspensión.
- Capacidad para un 150% de la carga.
- Un período de aireación que varia entre 6 y 8 horas dependiendo del caudal de aguas negras a tratar.

Para el diseño de los tanques de sedimentación se utilizan las especificaciones de los tanque de sedimentación primarios discutidos anteriormente. El proceso de los lodos activados es uno de los más efectivos y completos, su costo es comparable con el de cualquier otro método que obtenga resultados similares por lo que se utiliza bastante cuando se cuenta con el equipo mecánico necesario, la energía, y el personal con un alto grado de entrenamiento o de tecnificación.

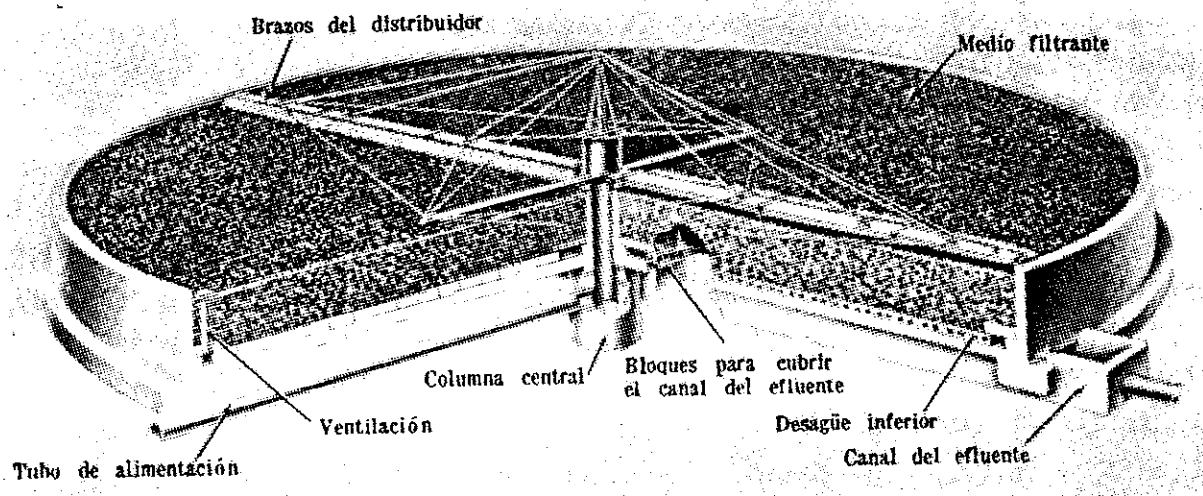
2. Filtros de escurrimiento o filtros percoladores

El método de tratamiento de las aguas negras por medio de filtros se lleva a cabo de una o de dos maneras: por su paso a través de un lecho profundo de material grueso, o mediante el uso de un medio filtrante más fino. En cualquiera de los casos los crecimientos orgánicos en las partículas del medio oxidan las delgadas películas de aguas negras que escurren a través del filtro. El filtro de granos gruesos es un aparato de tratamiento estándar y quizás el más usado. Los filtros de arena no sólo funcionan oxidando las aguas negras sino que también desarrollan una acción de cedazo eliminando así una cantidad considerable del material en suspensión. La rapidez de operación de los filtros disminuye a medida que el tamaño de las partículas del medio filtrante se vuelve más pequeño.

Los filtros percoladores o de escurrimiento consisten básicamente de un lecho de piedra quebrada o escoria, cuyas partículas son de 2 ½ a 4 pulgadas de diámetro. Este lecho puede tener una profundidad variable entre 1.2 y 2.7 metros(4 y 9 pies), pero usualmente es de 1.5 metros. Las aguas negras se aplican continuamente a la superficie del lecho, en láminas

delgadas o como rocío, y escurren hacia abajo rodeando las partículas de piedra hasta un sistema de drenaje inferior colocado en el fondo. Después de un corto período de uso, se forma una película gelatinosa en las partículas del filtro, la cual es de la misma familia de los flóculos producidos en el proceso de los lodos activados. Esta película mantiene bacterias oxidantes que a medida que las aguas negras fluyen en laminas delgadas, estabilizan la materia orgánica mediante una oxidación. Los filtros de escurrimiento siempre deben estar seguidos de sedimentación.

Gráfica 2.10: Detalles de un Filtro de Escurrimiento



El proceso de filtración elimina sólo un pequeño porcentaje de los sólidos que se aplican a éste, pero su función principal es cambiar el carácter de la materia orgánica aplicada al filtro. Esta materia orgánica que es cambiada por el paso a través del filtro es fácilmente detenida en los tanques de sedimentación que siguen a éste. Muchos de los filtros luego del tanque

de sedimentación parte de las aguas son regresadas a la entrada del filtro. La recirculación se utiliza cuando la carga orgánica que entra al filtro es más de tres veces que la deseada que salga. Los factores de recirculación varían entre 0.5 y 1.5 , dependiendo del grado de tratamiento que se le quiere dar al agua. Esto por una parte diluye la concentración de materia orgánica en el flujo del agua logrando así dar un mejor tratamiento, pero también aumenta bastante el caudal por lo que se debe tomar en cuenta en el diseño de los filtros y del tanque de sedimentación.

Los filtros se diseñan en base a la carga que se les va a aplicar, y ésta puede ser de dos tipos: hidráulica y orgánica. La carga hidráulica es el ritmo de aplicación del aguas negras en la superficie, y por lo general está expresada en millones de galones día por acre de superficie, galones día por 1000 pies cúbicos, o metros cúbicos diarios por metro cuadrado de superficie. La carga orgánica al igual que la hidráulica es el ritmo de aplicación de libras de DBO sobre la superficie, y está dada en libras de DBO día por acre o por 1000 pies cúbicos. Los factores utilizados para el diseño varían dependiendo del tipo de filtro que se desea obtener; un filtro de baja producción se diseña tomando una carga hidráulica entre 1.2 y 3.5 metros cúbicos por metro de superficie, un filtro de alta producción utiliza cargas entre 9.4 y 37.55 metros cúbicos día por metro cuadrado de superficie, un filtro estándar utiliza cualquier valor intermedio entre el de baja y alta producción.

Entre los filtros existe una gran variedad entre los cuales se encuentran: filtros de 1 etapa, filtros de dos etapas, filtros de arena, el acerofiltro, filtros biológicos, y filtros de devaste. También existe gran

cantidad de diferentes lechos filtrantes que se pueden utilizar como lo son: piedra quebrada, escoria, arena, de plástico, de madera de secoya, y placas de porcelana. Algunos de estos materiales obtienen mejores resultados que otros pero el principio es el mismo.

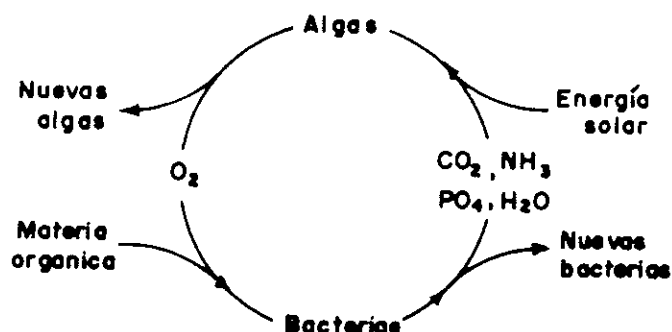
3. Tratamiento por Lagunaje:

El método de las lagunas para el tratamiento de aguas negras es utilizado por lo general sólo para plantas pequeñas puesto que requiere de grandes extensiones. Los sistemas de lagunaje se pueden clasificar en relación con la presencia de oxígeno en: aerobios, de maduración, facultativos y anaerobios. Este método utiliza el almacenamiento de los desperdicios en una laguna artificial, en la cual ocurre sedimentación y oxidación.

En su forma más simple, las lagunas aerobicas son grandes depósitos o lagunas artificiales excavadas en el terreno, de poca profundidad por lo general entre 0.3 y 1.5 metros (1 y 5 pies). El mecanismo de tratamiento de las aguas negras en las lagunas aerobias utiliza procesos naturales que dependen grandemente de la interacción entre las bacterias y las algas. En los estanques el oxígeno se suministra por aireación natural a través de la superficie y por fotosíntesis de las algas. Con excepción de la población de algas, la comunidad biológica presente en los estanques de estabilización es similar a la existente en los sistemas de lodos activados. El oxígeno liberado por las algas en el proceso de fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de

carbono liberados en este proceso de degradación los emplean a su vez, las algas.

Gráfica 2.11: Representación Esquemática de la Relación Simbiótica entre Algas y Bacterias en una Laguna Aerobia

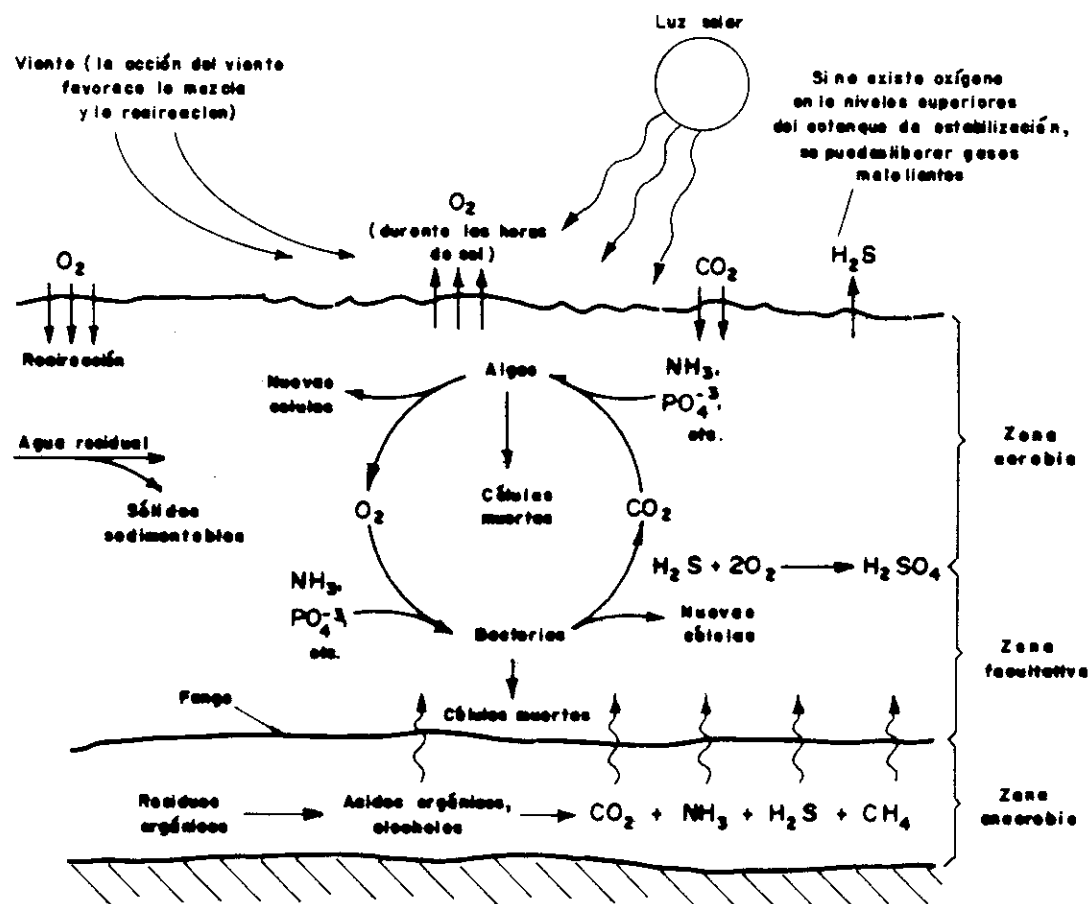


Las cargas que actúan en las lagunas están basadas en el área considerando que la profundidad está controlada, y se han obtenido resultados favorables con cargas hasta de 50 lb de DBO por acre. En los estanques aerobios, la eficiencia de la eliminación de la DBO es alta, aunque no hay que olvidar el alto contenido de algas y bacterias del efluente del estanque; por lo que estas aguas deben someterse a diversos procedimientos para eliminar las bacterias y algas.

Los estanques en los que la estabilización de las aguas residuales se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias, se conocen con el nombre de estanques facultativos. En un estanque facultativo existen tres zonas: una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica como es el caso de las lagunas aerobias, otra zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por la acción de las bacterias

anaerobias, y una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

Gráfica 2.12: Representación Esquemática de un Estanque de Estabilización



Las lagunas facultativas son estanques excavados en el terreno que se alimentan con las aguas residuales procedentes de un tratamiento primario. Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloides se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno

generado por las algas en la superficie. El dióxido de carbono que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango aporta la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO_2 , el H_2S , y el CH_4 , que bien se oxidan por las bacterias aerobias. En estas lagunas se pueden sustituir las algas por aireadores.

Las lagunas anaerobias se usan por lo general para el tratamiento de aguas residuales de alto contenido orgánico que también contenga una alta concentración de sólidos. Generalmente una laguna anaerobia es un estanque profundo excavado en el terreno, dotado de un sistema de conducciones de entrada y salida adecuados. En las lagunas anaerobias se desea conservar la energía calorífica y mantener las condiciones anaerobias, por lo que se construyen hasta de profundidades de 9 metros. Los residuos a tratar en el estanque se sedimentan en el fondo del mismo y el efluente parcialmente clarificado se vierte normalmente a otro proceso posterior. Generalmente estos estanques son anaerobios en toda su profundidad excepto en una estrecha franja cercana a la superficie.

Todos estos procesos de tratamiento por medio de lagunas pueden en algún momento despedir malos olores o crear mosquitos y otros insectos por lo cual es recomendado que estén como mínimo a un kilómetro de la casa más cercana. También es recomendable cercar estas lagunas, y que sus orillas se diseñen de modo que permitan una limpieza fácil de las yerbas. Se pueden tener dos o más lagunas trabajando en serie, esto permite un grado mayor de tratamiento aunque no permite aumentar la carga en la laguna primaria.

4. Cloración de las aguas negras

La desinfección de las aguas negras por medio de cloración es algo muy utilizado puesto que tiene grandes ventajas para la eliminación de los patógenos y la eliminación de los malos olores. Se puede aplicar cloro en la salida de una planta de tratamiento de aguas negras para reducir el número de bacterias y para disminuir la DBO. También se puede aplicar a las aguas negras en la entrada de la planta para retardar la acción biológica, como también se utiliza el cloro en el control de olores para retardar las reacciones que los producen o para combinarlo con los compuestos productores de olores con el fin de neutralizar su efecto.

Cuando el cloro se le aplica a las aguas negras en la entrada de la planta de tratamiento, se proporciona contacto entre las partículas de cloro y las aguas negras en el paso a través de las unidades de tratamiento. Cuando se aplica el cloro a las aguas negras en la salida de la planta, es necesario proporcionar un medio de mezclar el cloro con las aguas negras y proporcionar un tanque de contacto, lo suficientemente grande para permitir un período de retención de 15 minutos, y construido de tal modo que evite la sedimentación de la materia en suspensión.

En el proceso de la descomposición de las aguas negras se producen productos como el sulfuro de hidrogeno y otros, los cuales pueden ser la causa de olores desagradables. El cloro, en cantidades apropiadas, destruye las bacterias que rompen los compuestos de azufre y esto evita o disminuye los malos olores. Esto por lo general sucede en las largas líneas de alcantarillado, por lo que el cloro en estos casos se puede adicionar a las aguas en un pozo de visita.

El cloro es de gran utilidad para el tratamiento de las aguas debido a sus características, las cuales son: alta toxicidad para los microorganismos, es estable, es homogéneo, oxida la materia orgánica, tiene una alta penetración, es fácilmente soluble, tiene alta capacidad desodorante, no es colorante, y tiene un costo bajo. Así como el cloro tiene estas ventajas, también posee ciertas características que hay que tomar en cuenta, las cuales son: que es altamente tóxico para todas las formas de vida, a temperatura ambiente es altamente tóxico, y es muy corrosivo. La dosificación o las cantidades de cloro a mezclar con las aguas negras depende de muchos factores y de que resultados se desee obtener. En la siguiente tabla se pueden observar las dosificaciones adecuadas para cada tratamiento que se desea llevar a cabo, para la recogida y para la evacuación del agua residual.

Tabla 2.6: Dosis para Diversas Aplicaciones de la Cloración en la Recogida, Tratamiento y Evacuación de Agua Residual

Aplicación	Dosis en mg/litro
Red de alcantarillado:	
Control de corrosión	2-9
Control de olores	2-9
Control de crecimientos de películas biológicas	1-10
Tratamiento:	
Reducción de DBO	0.5-2
Control de espumas en digestiones y tanques Imhoff	2-15
Control de moscas en los filtros	0.1-0.5
Eliminación de Grasas	2-10
Evacuación (desinfección):	
Agua residual bruta	6-25
Efluente del proceso de precipitación química	5-20
Efluente de plantas de filtros percoladores	3-15
Efluente del proceso de lodos activados	2-8
Efluente filtrado	1-5

D. Tratamientos modernos o plantas paquete

Los métodos modernos de tratamiento de aguas negras o las plantas paquete son plantas de tratamiento fabricadas para un determinado caudal que ya vienen listas sólo para conectarse. Entre los métodos modernos existe

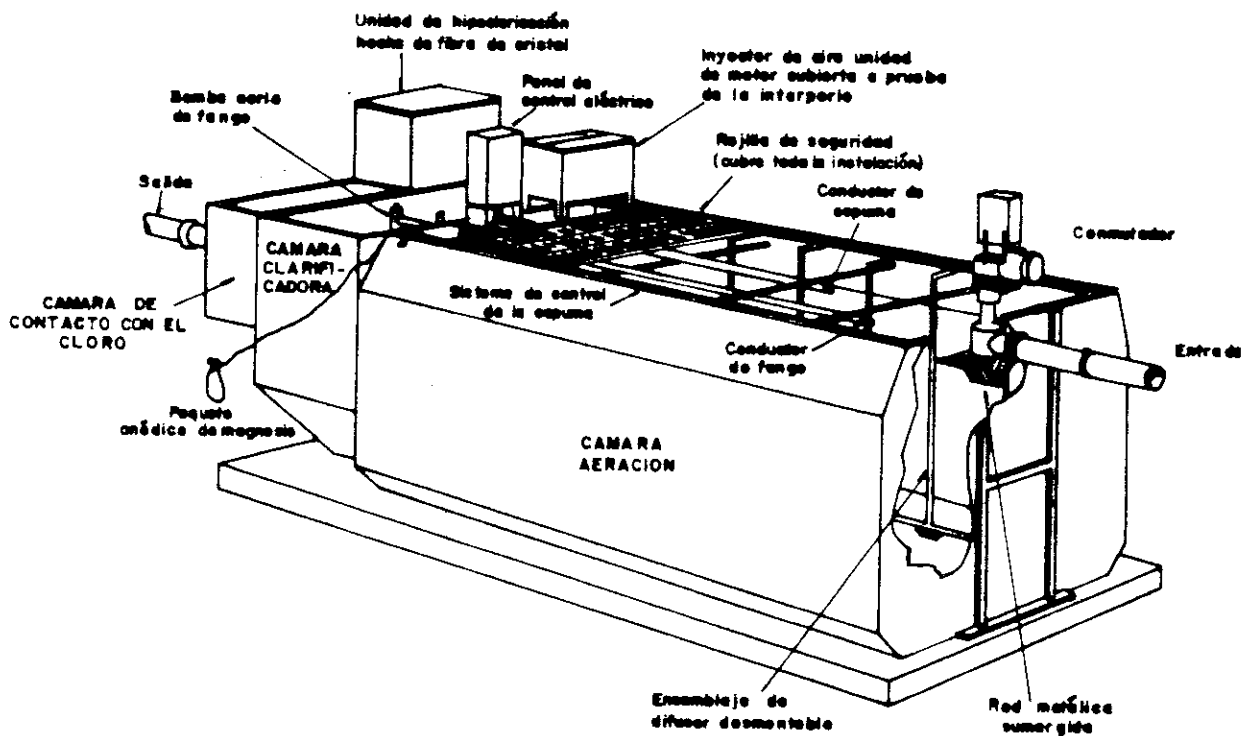
una gran variedad, ya conocidos modificados y optimizados para poder lograr mejores resultados, entre los cuales se involucran la aireación prolongada, filtros, bacterias, químicos y cloración. Las plantas paquete son plantas más sencillas, que operan casi sin necesidad de personal, y que por lo general ocupan menos área que las plantas tradicionales.

Entre las plantas paquete existen gran variedad, en esta investigación sólo se hablará de dos métodos diferentes: el método de reactores de secuencias en tandas (SBR), y el método de la aireación prolongada.

El método de la aireación prolongada es una modificación del método de los lodos activados. Las aguas negras entran a la planta paquete a una cámara de aireación, en esta cámara el agua tiene un período de retención de 24 horas, en donde el agua recibe grandes cantidades de aire por medio de aireadores en el fondo. Con estas cantidades grandes de oxígeno se proporcionan las condiciones ideales para las bacterias aeróbicas y que otros microorganismos que descomponen las aguas residuales puedan vivir y multiplicarse dentro de la planta. Luego de este período de aireación las aguas pasan a un clarificador donde se mezclan con cloro. La aireación prolongada crea las condiciones ideales para que las bacterias se multipliquen y coman así destruyendo por completo los lodos y sin crear ningún residuo sólido. Las aguas luego de pasar por la cámara clarificadora ya tienen un tratamiento avanzado y quedan así ya tratadas y listas para su disposición. En las plantas paquete de aireación prolongada todo opera de forma automática, no necesitando así personal más que para proporcionar el cloro cada semana. En las plantas paquete de aireación prolongada se obtiene una eliminación de la DBO en un 95%, una eliminación de la DQO

de un 90% y una eliminación de los sólidos de un 90%, quedando así las aguas con un alto grado de tratamiento. El método de la aireación prolongada no crea malos olores y no deja ningún residuo sólido; por lo que la planta puede estar en cualquier parte sin causar ninguna molestia.

**Gráfica 2.13: Diagrama Típico de Planta Paquete
(Método de la Aireación Prolongada)**



El tratamiento de las aguas negras por medio de reactores de secuencias en tandas también es una modificación del proceso de los lodos activados. Este método consiste en cinco pasos principales en el mismo tanque y un sexto paso en otro tanque. Los pasos son: llenar, reacción, asentamiento, decantar, inactividad y cloración. El paso de llenar se lleva a cabo cuando las aguas negras entran, y se mezclan, la reacción comienza en el llenado y consiste en proporcionar aire en grandes cantidades al agua, luego de éstos continúa la decantación que es cuando para el oxígeno dejando así las aguas quietas para que los sólidos se asienten, luego toca el paso de decantar y en ésta las aguas aclaradas salen para ser cloradas y así desechadas, al finalizar esto toca el período de inactividad que es el tiempo en que termina éste y comienza de nuevo el llenado. Si el período de inactividad es largo se proporciona oxígeno al lodo que queda en el tanque para evitar condiciones sépticas. Los lodos salen automáticamente cuando llegan a cierto nivel. Este método tiene la ventaja que a la vez que elimina la DBO en un 95%, la DQO en un 90% y los sólidos en un 95%, también reduce los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo dando así un mayor tratamiento al agua, aunque tiene la desventaja que si tiene residuos sólidos hay que darles un tratamiento adecuado. Al igual que las otras plantas paquete éstas también se operan automáticamente y necesitan de una atención mínima.

Las plantas paquete tienen grandes ventajas sobre los tratamientos tradicionales de las aguas negras, como lo es: que se operan automáticamente, necesitan una mínima atención, no producen malos olores, ocupan espacios reducidos, se pueden mover de lugar, su instalación es

rápida y algunas de ellas no producen residuos sólidos; todo esto las convierte en sistemas muy prácticos. Los niveles de tratamiento que recibe el agua son muy avanzados sin necesitar así ningún otro tratamiento. Las plantas paquete tienen el problema o la desventaja que todo su funcionamiento es electrónico, necesitan grandes cantidades de energía, lo cual hace que su funcionamiento sea caro, limita su uso a lugares con energía eléctrica y a la hora que ésta falte, el agua no recibe tratamiento a menos que se le coloque un sistema auxiliar para proporcionarle la energía necesaria. El costo inicial de las plantas paquete también es elevado, para un proyecto habitacional grande oscila entre 1000 y 2000 quetzales por lote o casa, lo que para vivienda popular es un valor que incide demasiado en el costo del terreno o unidad habitacional y su mantenimiento vendría a convertirse a mediano plazo en una carga económica para el municipio. En la actualidad no existen leyes que permitan cobrar el servicio de tratamiento de drenajes, por lo que en áreas rurales y de vivienda popular no es el sistema más aconsejable.

E. Disposición de las aguas

La disposición de las aguas negras es la forma en que éstas después de recibir el tratamiento adecuado son devueltas al medio ambiente. La disposición de las aguas negras ya tratadas se puede llevar a cabo por medios de: irrigación superficial, irrigación al subsuelo, infiltración al suelo o por medio de dilución directamente en un río, lago o mar.

1. Irrigación superficial y al subsuelo:

La disposición de las aguas negras por irrigación, o inundación del suelo es de gran valor en las áreas áridas. En muchos casos y en muchas partes del mundo las aguas negras son utilizadas para irrigar tierras para pasturas, así como para huertos de naranjas, limones, y nogales. En la mayoría de los casos se le debe dar prioridad al proyecto ya sea para la disposición de las aguas, o al cultivo de las cosechas; puesto que generalmente estos son incompatibles. Desde el punto de vista de la salud, las granjas regada con aguas negras se debe restringir a cultivar forrajes, y no se deben cultivar verduras. La posibilidad de contaminación peligrosa producida por las aguas negras es pequeña, aunque siempre existe un grado de riesgo. La disposición de las aguas por medio de irrigación se puede llevar a cabo de varias formas: por medio de rociado, por medio de surcos y canales, o directamente al subsuelo por medio de tubería.

Las aguas negras que se irrigan al suelo o al subsuelo como mínimo deben recibir un tratamiento primario. En la mayoría de los casos, también es recomendable un tratamiento secundario, y si las aguas contienen aceites, grasas, ácidos u otras sustancias indeseables se podría necesitar un tratamiento especial para neutralizarlos o eliminarlos. En la práctica se han encontrado valores entre 5 y 20 litros día por metro cuadrado dependiendo del tipo de suelo y el método de irrigación utilizado. Las condiciones climatológicas como la humedad, el viento y la temperatura afectan los valores de disposición por acre; el invierno y la lluvia también afectan estos valores.

Los métodos principales utilizados para la disposición de las aguas negras por medio de irrigación superficial utilizan surcos o pulverizan las aguas negras en forma de rocío. En el primer método los surcos están separados entre 1 y 5 metros, tienen una profundidad de 0.3 a 1 metro, y el ancho entre bordos es igual a su profundidad. Para este método de irrigación se requiere de un terreno relativamente plano, el costo inicial es alto pero se compensa con su bajo costo de operación.

La irrigación por medio de rociado no necesita de una preparación especial de la tierra. Se pueden tolerar pendientes moderadas, y se han utilizado áreas con arboles, maleza, tierras para pasturas o cultivos. Las aguas negras se bombean a través de rociadores giratorios, que por lo general son de baja presión. Este método tiene la ventaja que la tubería y los rociadores se pueden mover fácilmente para aplicar las aguas en diferentes áreas. Cualquiera de estos dos métodos de irrigación puede tener problemas con la producción de mosquitos y malos olores. Estos dos métodos de irrigación superficial involucran la infiltración, la evaporación y la transpiración.

La irrigación directamente al subsuelo, trabaja básicamente con el mismo principio de los canales. Este método consiste en colocar tubería perforada enterrada en el suelo, acentada directamente sobre un lecho de piedrín o material granular. La profundidad a la que se coloca la tubería varía desde 0.3 metros hasta 1.5 metros, y la separación de ésta es desde 1 metros hasta 5 metros. Las aguas negras pueden fluir como canal, o se puede bombear el agua a presión. Este método tiene la gran ventaja que por encontrarse debajo de la tierra no crea malos olores ni mosquitos, por lo que

se puede colocar por debajo de áreas verdes o deportivas sin causar ningún problema. Tienen un alto costo inicial y un bajo costo de operación si se trabajan como canales. Las aguas negras a irrigarse por medio de este método deben llevar un alto grado de tratamiento para evitar sedimentación en la tubería o que éstas se tapen.

2. Infiltración al suelo y o recarga de las aguas subterráneas

El efluente de las aguas negras también se puede utilizar para recargar las aguas subterráneas por medio de infiltración. La recarga se puede llevar a cabo mediante depósitos de repartición (posas) o posos de absorción,, que permiten a las aguas negras que se infiltren y lleguen hasta las aguas subterráneas, o bien se pueden bombear las aguas hasta los estratos acuíferos. En cualquier caso se debe dar a las aguas negras un alto nivel de tratamiento para evitar que tapen y obstruyan el suelo en el que se están filtrando.

En estudios efectuados se ha encontrado que de 15 a 30 centímetros de efluente se pueden infiltrar mediante un buen depósito de repartición, sin que se obstruyan los lechos superiores del suelo. En el caso de los pozos mucho depende del tipo de suelo que se obtenga, y se pueden alcanzar infiltraciones mucho mayores puesto que se alcanzan estratos más profundos donde el agua puede correr con mayor facilidad. En el caso de bombear el agua hacia el acuífero se han obtenido valores hasta de 31 litros por minuto por pie-metro de acuífero, pero al cabo del tiempo los acuíferos tienden a taparse. En experimentos se ha comprobado que la longitud de viaje de los organismos

coliformes y demás patógenos no excedió de 30 metros en la dirección del flujo de la aguas subterráneas y 20 metros en otras direcciones.

3. Dilución de las aguas negras a un río, lago, u océano:

En donde las condiciones sean favorables, el efluente obtenido del tratamiento primario o de un tratamiento más avanzado puede descargarse directamente en la corriente de agua. A este tratamiento se le llama dilución. El factor importante que determina si la dilución es o no suficiente, es la relación entre la carga orgánica debida al flujo de aguas negras y el volumen contenido de oxígeno por la corriente y el carácter de la corriente.

Las condiciones esenciales o favorables para una disposición exitosa por dilución son las siguientes: frescura de las aguas negras, carencia en las aguas negras de materias y sólidos flotantes capaces de sedimentarse, mezclado concienzudo de las aguas negras con el agua dilutora, elevado contenido de oxígeno en la corriente de agua, corriente que lleven las aguas negras a puntos de dilución ilimitada, ausencia de áreas que tiendan a facilitar la sedimentación de los sólidos y la formación de depósitos de lodos, y equilibrio biológico.

La dispersión de las aguas negras en el agua es necesaria para una disposición exitosa por solución. En el caso de una corriente, la descarga debe ser en un área de corrientes relativas, y si el volumen de descarga es considerable, deben utilizarse múltiples desfuegos. En el caso de una descarga hacia aguas salinas, se utilizan normalmente múltiples desfuegos para llevar a cabo la máxima dilución posible. Los hechos parecen mostrar que el área de distribución efectiva usualmente no es grande, como el agua

salina contiene menos oxígeno que el agua fresca, es necesario una dilución mayor. Si el volumen del agua dilutora es insuficiente, se debe proporcionar a las aguas negras un tratamiento adicional para reducir la carga orgánica, de modo que el oxígeno disuelto en la corriente no baje de un nivel de seguridad. La determinación de qué carga puede aplicarse a una corriente, debe tomar en consideración los flujos mínimos de la corriente, las temperaturas del agua, la capacidad de reaeración de la corriente, y esos factores deben compararse contra el uso que se le dará a la corriente.

La eliminación del oxígeno disuelto en una corriente o un volumen de agua se llama desoxigenación, ésto se lleva a cabo bastante rápido. Cuando las aguas se desoxigenan, comienza un proceso de descomposición anaeróbica y ésto continúa hasta que las aguas puedan absorber suficiente oxígeno para satisfacer las demandas de la materia orgánica para su oxidación; este proceso de absorción de oxígeno se llama oxigenación o reaeración y lleva algún tiempo. Las aguas negras solo se deben disponer por medio de dilución en ríos en los casos donde: la corriente no se utiliza aguas abajo para abastecimiento de agua potable, la cantidad de oxígeno en el agua es suficiente para oxidar la materia orgánica sin bajar de un nivel de seguridad o en el caso de no ser así, el carácter de la corriente se presta para una reoxigenación favorable. En el caso de disponer las aguas en lagos u océanos ésto solo debe llevarse a cabo cuando el volumen de oxígeno es suficiente para oxidar la materia orgánica sin bajar de un nivel de seguridad, y la reoxigenación de las aguas es favorable para que éstas siempre mantengan su frescura. En los lagos o mares los desfuegos deben colocarse

a suficiente distancia para que no molesten, y de preferencia deben ser múltiples.

IV. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

A. Localización Geográfica

El terreno donde se desarrollará el proyecto “Llanos de Azacualpilla” está ubicado en el departamento de Guatemala, en el municipio de Palencia, en las cercanías de la aldea de Azacualpilla. En el mapa “SAN PEDRO AYAMPUC, GUATEMALA 2160 III E754 EDITION 2-NIMA”, del Instituto Geográfico Militar IGM, es el área a los alrededores de las coordenadas UTM 16 29 400 Norte y 7 85 500 Este; o en la latitud 14°,43’,30” y la longitud 90°,21’,5”; y está a 1200 metros sobre el nivel del mar. Ver Apéndice C, Gráfica # 1, Mapa Geográfico San Pedro Ayampuc.

B. Limite territorial

Los terrenos donde se desarrollará el proyecto “Llanos de Azacualpilla”, están localizados en el kilómetro 23 carretera CA-9 norte, al Atlántico, a 800 metros del Asfalto, rumbo Este, a través de la Lotificación San Mauricio. El terreno colinda al Norte con el Sr. Hugo Bendfeldt, al Sur con la Lotificación Las Vegas y con el Sr. Eduardo Morales, al Este con Vicente Reyes Mallen y Rodolfo Solis Bonilla y al Oeste con la lotificación San Mauricio y la aldea de Azacualpilla. Ver Apéndice A Plano # 7, Plano de Localización y Colindancias.

C. Descripción general del área del proyecto

La aldea de Azacualpilla, está ubicada en el km. 23 carretera CA-9 norte, conocida como Carretera al Atlántico (realmente al Mar Caribe). Es

una aldea relativamente pequeña de 3-4 mil habitantes. La aldea Azacualpilla cuenta con un mínimo de servicios, como lo son: agua y luz. En lo que corresponde a los drenajes cada casa tiene su propio tratamiento (fosa séptica), los drenajes pluviales y algunas aguas de pila corren por las calles o por los zanjones naturales.

Dentro de los servicios generales con que cuenta el área, podemos describir los siguientes: Escuela primaria, Puesto de Salud, Centro de Alcohólicos Anónimos, Alcaldía auxiliar de Palencia, Iglesia Católica, Iglesia Evangélica y Teléfono Comunitario.

Entre los servicios comerciales se encontró que el área cuenta con varias tiendas de artículos de primera necesidad, una abarrotería, un pequeño mercado, un pinchazo, una venta de madera y leña.

En lo que respecta a fuentes de trabajo se encontró que en el área existen una fábrica de aceites esenciales, una fábrica de pegamentos, un beneficio de Arroz, varias fabricas de Maquila, una reensambladora de camiones y la gran cantidad de fuentes de trabajo en el área de la construcción que se están abriendo cada día por el desarrollo del área en proyectos habitacionales. Debido a que Azacualpilla se encuentra en las periferias de la ciudad, la mayoría de habitantes del área trabajan en la capital.

Los sistemas de transporte que existen en la zona son las líneas de transporte extra urbano que pasan al frente y las líneas de transporte urbano que llegan hasta Azacualpilla, siendo este servicio aceptable por el momento ya que pasa un bus cada 10 o 15 minutos.

D. Descripción del medio ambiente

Cuando se habla del medio ambiente de un lugar, este término involucra el clima, el suelo y el uso que a este se le puede dar y se le está dando.

El clima en general es cálido seco, con un invierno benigno. La temperatura media es de 24 grados centígrados, la velocidad del viento promedio es de 12.4 km./h, en dirección Noreste. El promedio de precipitación anual es de 1,000 mm en 110 días de lluvia, y la humedad relativa media es 52%. La insolación promedio diaria es de 8.25 horas, con una radiación media de 0.31 calorías/cm²/minuto.

Los suelos de la zona según el mapa geológico, caen bajo la clasificación III: Clases Misceláneas de Terreno (suelos poco profundos sobre roca). El área de Azacualpilla está asentada en una zona geológica de origen terciario, de rocas volcánicas sin dividir, predominantemente del Mio-Plioceno, la zona incluye tubas coladas de lava, material libárico y sedimentos volcánicos. A simple vista los distintos materiales que se pueden apreciar en el terreno son: una capa de humus de aproximadamente 0.40 metros, algunos bancos de selecto, bastante roca suelta, una especie de ceniza volcánica fina, y en algunos cortes formaciones de rocas metamórficas laminadas fáciles de fracturar.

El sector donde se encuentra el proyecto Llanos de Azacualpilla, se caracteriza por ser una zona de transición, de uso agrícola a uso urbano. Actualmente en el terreno se puede observar que en su mayoría la tierra está inactiva; en algunas partes del terreno se pueden observar siembras de maíz, frijol, pasto y algunas matas de banano (ver Apéndice C, Gráfica # 2 a la # 8,

fotos del área). Otras áreas del terreno se encuentran cubiertas con bosques, entre estos bosques se pueden observar las siguientes variedades de arboles: pinos, eucaliptos, madrecaao, conacaste y en la mayoría encinos. Debido a las pendientes y a las características geológicas de los suelos, estas tierras no son muy valiosas para la agricultura.

E. Drenajes naturales

En la actualidad en lo que respecta a los drenajes naturales del agua de lluvia, como se puede observar en los planos de curvas de nivel, el terreno está subdividido en cinco pequeñas cuencas (ver Apéndice A, plano # 1 y 2, las curvas de nivel). El agua de las lluvias en el momento que cae, se escurre sobre el terreno en dirección de las cuencas hasta llegar a zanjones naturales por donde está sale del terreno. El terreno esta cubierto casi en su totalidad por vegetación (pasto, grama, arboles, milpa, etc.), por lo que el agua no genera mayor erosión (Ver Apéndice C, Gráfica # 2 a la # 8, fotos de las cuencas, la vegetación que cubre el suelo y de los zanjones por donde corre el agua de lluvia).

V. DESCRICION DEL PROYECTO

El proyecto urbanístico “Llanos de Azacualpilla”, es un desarrollo de lotes para vivienda enfocado para la clase socioeconómica baja. El proyecto se está trabajando bajo el sistema del Fondo Guatemalteco para la Vivienda (FOGUAVI). Esto permite al comprador que con un enganche de Q.4,000.00, pueda optar a un bono de Q. 12,000.00 dado por FOGUAVI, este enganche está siendo cubierto por la empresa promotora del proyecto CEINCASA con un bono de Q. 2,000.00 quedando el comprador así con un pago único de Q. 2,000.00 el cual es financiado hasta dos años. Este proyecto está enfocado para satisfacer un problema habitacional, en la clase más baja del país. El proyecto consta de 6,889 lotes los cuales están divididos en 3 sectores. La urbanización del proyecto cuenta con los servicios de agua, luz, drenajes pluviales y sanitarios, y calles balaustradas. Adicionalmente cumple con prever el futuro desarrollo de áreas escolares, verdes, deportivas y se ha previsto que se desarrolle un área comercial para servir al conjunto.

El área total del terreno a desarrollarse es ligeramente menos de 863,172.39 m² o 1,235,329.17 v², y se han previsto otros desarrollos adicionales para el futuro en terrenos colindantes al terreno en el cual se está llevando a cabo el proyecto. El proyecto consiste en 6,889 lotes individuales, de 60m² (5m x 12m), con excepción de aquellos lugares donde el trazo vial obligue tener lotes irregulares (por lo general más grandes). Ver plano General en Apéndice A, Plano # 3 y Plano # 4.

Tabla 4.1:
Distribución de las Areas del Proyecto
“ Llanos de Azacualpilla” (expresada como porcentajes
del área total del conjunto)

#	Tipo de Area	Superficie en m2	%
1	Lotes	413,340.00	47.89
2	Calles	164,993.00	19.11
3	Escolar	51,805.50	6.01
4	Deportiva	44,158.62	5.02
5	Verde y Forestal	159,226.27	18.45
6	Tanque	3,655.00	0.42
7	Plantas de Trat.	25,994.00	3.01
8	TOTAL	863,172.30	100.00

El terreno en que se realizará el desarrollo urbanístico, consta de varias grandes hondonadas con pendientes aprovechables y con varios zanjones no aprovechables por los que escurren las aguas pluviales. El terreno está subdividido básicamente en 5 pequeñas cuencas, las cuales fuera del terreno se convierten en dos y drenan al río las Cañas y a la quebrada el Trapichito que luego se une al río las Cañas. Ver Apéndice A, Plano # 1 y Plano # 2, planos de curvas de nivel.

El Proyecto está ubicado en el kilómetro 23 carretera al Atlántico (CA-9 Norte), colindando con la aldea de Azacualpilla, y el proyecto urbanístico San Mauricio. De la carretera al proyecto hay una distancia de 800 metros pasando a través del proyecto urbanístico San Mauricio. El ingreso al proyecto será por medio de una avenida principal de 13 metros de ancho; y de esta avenida parten las diferentes calles y avenidas de las cuales todas tendrán un ancho de 8 metros.

El sistema de introducción de agua potable del proyecto Llanos de Azacualpilla consistirá en: 4 pozos de perforación mecánica de 1,000 pies de profundidad. Estos pozos serán perforados fuera del terreno ya que basándose en estudios hidrológicos realizados, se descubrió que en estos dos puntos el manto freático se encuentra menos profundo. Estos pozos estarán perforados dos a cada lado del proyecto, dos en las cercanías del río las Cañas, y los otros dos cerca de la pendiente del Trapichito. Desde ambos puntos se bombeará el agua hacia los tanques que se encuentran en los puntos más altos de los terrenos (ver Apéndice A, Plano # 3 y Plano # 4, planos generales del proyecto, la ubicación del área de tanques). El agua al entrar en los tanques recibirá un tratamiento adecuado de cloro. Luego desde los tanques el agua por gravedad fluirá a través de la red de abastecimiento de agua llegando así a todos los diferentes puntos del proyecto.

En lo que respecta al servicio de energía eléctrica el proyecto hará el posteo y tendido de líneas de acometida eléctrica desde el poste de la Empresa Eléctrica Guatemalteca (EEGSA) más cercano, que se encuentra a unos 150 metros del proyecto. Todo el posteo y el tendido de líneas se

hará conforme al estudio que se contrató a la EEGSA, ya sea por medio de ellos mismos o por parte de una empresa privada. Tal posteo se hará de manera de cumplir la normativa que posibilita instalar cometidas individuales a cada uno de los lotes y con una capacidad de 2.5 kilovatios hora, que es más de lo que cualquier vivienda popular consume. No se ha contemplado instalar iluminación pública en el conjunto debido al elevado costo de los focos que se exigen en las normas de la EEGSA, y que el costo de la energía de la iluminación pública es absorbido por la municipalidad del área (PALENCIA) la cual no está de acuerdo en absorber este costo.

En lo que respecta a los drenajes el proyecto Llanos de Azacualpilla contara con un sistema separativo de drenajes, pluviales y sanitarios. La recolección de las aguas pluviales se hará por medio de zanjas abiertas en los costados laterales de las calles (cunetas), en el área que se ha dejado prevista para que eventualmente los habitantes del proyecto hagan sus banquetas. Estas cunetas serán inducidas a cajas y a tubería de concreto en todos los cruces de calles. La disposición final de las aguas pluviales se hará hacia zanjones naturales dentro del terreno, donde actualmente corren las aguas pluviales, o se infiltrarán al subsuelo por medio de pozos de absorción tratando así de recargar los mantos freáticos.

La red de drenajes sanitarios será construida con tubería de PVC, según la norma 3034, con los diámetros apropiados calculados para un flujo como canal. De acuerdo a la topografía del terreno el proyecto se subdividirá en cinco áreas, cada una de las cuales contribuirá a una planta de tratamiento de aguas negras en particular. Ver Apéndice A, Plano # 5 y Plano # 6, la distribución de drenajes. Entre las cinco plantas de tratamiento del proyecto

hay una muy grande que recibe las aguas negras de 3,619 lotes, dos de mediano tamaño, una recibe las aguas negras de 1,039 lotes, la otra de 1,006 lotes, y dos plantas relativamente pequeñas una que recibe las aguas negras de 720 lotes y la otra de 505 lotes.

El proyecto cumple con todos los requisitos de la ley de parcelamientos urbanos, ya tiene su licencia municipal de construcción y el estudio de impacto ambiental que exige CONAMA.

VI. DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

A. Volumen de diseño

El diseño del tratamiento de las aguas negras o aguas residuales como lo pudimos observar en la descripción del proyecto, se llevará a cabo por medio de cinco distintas plantas de tratamiento, cada una de ellas con un diferente caudal y diferentes condiciones. Basándose en toda la información recopilada podemos asumir los siguientes datos para el diseño:

- 6 habitantes por lote
- 120 litros de aguas negras por persona
- Según propuesta de CONADEL una demanda bioquímica de oxígeno en las aguas negras de 300 mg/litro
- Según propuesta de CONADEL una demanda química de oxígeno en las aguas negras de 500 mg/litro
- Según propuesta de CONADEL un total de sólidos disueltos en las aguas negras de 500 mg/litro

Con los datos anteriormente descritos, se pueden calcular los caudales de diseño para cada una de las plantas de tratamiento. Aparte de los caudales de aguas negras también se deben tomar en cuenta para el diseño los caudales debidos a: infiltración (agua que se infiltra en la tubería de la red de drenajes), aportaciones permanentes (agua producida por drenajes subterráneos o en zonas pantanosas introducidas a la red de drenajes), aportaciones directas (parte de los drenajes pluviales de una casa conectados a la red de drenajes ilícitamente) y aportaciones retardadas (drenajes de

sótanos que son bombeados a la red cada vez que llegan a cierto limite). Se sabe que la red de drenajes será construida con tubería de PVC, por lo que no se tomará en cuenta la infiltración; y sabiendo el tipo de proyecto que es no se tienen aportaciones retardadas ni aportaciones permanentes. Para el diseño sólo se tomará el caudal domiciliar por persona y las aportaciones directas. Para las aportaciones directas se utilizarán los valores obtenidos en el INSIVUMEH, que son una precipitación anual de 1,000 mm y está distribuida en 110 día de lluvia. Con los anteriores datos y asumiendo que uno de cada dos lotes se conectan ilícitamente a la red de drenajes y tienen un área de recolección de 20 metros cuadrados podemos calcular:

$$\begin{aligned}
 \text{Aportación Directa} &= 1.0\text{m/año} / 110 \text{ días lluvia/año} * 20 \text{ metros}^2 \\
 &= 0.181 \text{ metros cúbicos} / 2 \text{ lotes} \\
 &= 90.5 \text{ litros día} / \text{lote}
 \end{aligned}$$

Con los anteriores datos y al conocer la cantidad de lotes que contribuyen a cada una de las plantas de tratamiento podemos calcular el caudal o el volumen de aguas negras que cada una recibe y trata al día con la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Diseño} &= \# \text{ lotes} * 6 \text{ personas} * 150 \text{ litros/persona} + \# \text{ lotes} * \\
 &\quad \text{Aportación Indirecta}
 \end{aligned}$$

Planta # 1: 3,619 lotes

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Diseño} &= 3619 \text{ lotes} * 6 \text{ personas} * 120 \text{ litros} + 3619 \text{ lotes} * 90.5 \\
 &\quad \text{litros / lote} \\
 &= 2,2605,680 + 327,519.5 \text{ litros/ día} \\
 &= \mathbf{2,933,199.5 \text{ litros / día}}
 \end{aligned}$$

Planta # 2: 1,006 lotes

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Diseño} &= 1,006 \text{ lotes} * 6 \text{ personas} * 120 \text{ litros} + 1,006 \text{ lotes} * 90.5 \\
 &\quad \text{litros / lote} \\
 &= 724,320 + 91,043 \text{ litros/ día} \\
 &= \mathbf{815,363 \text{ litros / día}}
 \end{aligned}$$

Planta # 3: 505 lotes

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Diseño} &= 505 \text{ lotes} * 6 \text{ personas} * 120 \text{ litros} + 505 \text{ lotes} * 90.5 \\
 &\quad \text{litros / lote} \\
 &= 363,600 + 45,702.5 \text{ litros/ día} \\
 &= \mathbf{409,302.5 \text{ litros / día}}
 \end{aligned}$$

Planta # 4: 1,037 lotes

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Diseño} &= 1037 \text{ lotes} * 6 \text{ personas} * 120 \text{ litros} + 1037 \text{ lotes} * 90.5 \\
 &\quad \text{litros / lote} \\
 &= 746,640 + 93,848.5 \text{ litros/ día} \\
 &= \mathbf{840,488.5 \text{ litros / día}}
 \end{aligned}$$

Planta # 5: 720 lotes

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Diseño} &= 720 \text{ lotes} * 6 \text{ personas} * 120 \text{ litros} + 720 \text{ lotes} * 90.5 \\
 &\quad \text{litros / lote} \\
 &= 518,400 + 65,160 \text{ litros/ día} \\
 &= \mathbf{583,560 \text{ litros / día}}
 \end{aligned}$$

B. Tamaño del terreno a emplearse

Debido al tamaño del proyecto y a las curvas de nivel del terreno, el proyecto tendrá cinco distintas plantas de tratamiento para aguas negras.

La planta de tratamiento # 1 que es la más grande, recibe el agua residual de 3,619 lotes, el terreno con el que se cuenta para la planta tiene una extensión de 7,100.00 m². El terreno es irregular en su topografía por lo que habrá que trabajarlo en 3 distintas plataformas, la primera donde estarán los tanques de sedimentación primaria y la malla a una altura de 91 metros según las curvas de nivel, la segunda donde estarán los filtros y los tanques de sedimentación secundaria a una altura de 83 según las curvas del terreno y la tercera donde estará el tanque de cloración a una altura de 75 metros según las curvas de nivel. Ver Apéndice A, Plano # 8.

La planta de tratamiento # 2, recibe el agua residual de 1,006 lotes, el terreno con el que se cuenta para la planta tiene una extensión de 3,856.00 m². El terreno es irregular en su topografía por lo que habrá que trabajarlo en 3 distintas plataformas, la primera donde estarán los tanques de sedimentación primaria y la malla a una altura de 65 metros según las curvas de nivel, la segunda donde estarán los filtros y los tanques de sedimentación secundaria a una altura de 58 según la curvas del terreno y la tercera donde

estará el tanque de cloración a una altura de 53 metros según las curvas de nivel. Ver Apéndice A, Plano # 9.

La planta de tratamiento # 3, que es la más pequeña, recibe el agua residual de 505 lotes, el terreno con el que se cuenta para la planta tiene una extensión de 5,150.00 m². El terreno es irregular en su topografía por lo que habrá que trabajarlo en 3 distintas plataformas, la primera donde estarán los tanques de sedimentación primaria y la malla a una altura de 138 metros según las curvas de nivel, la segunda donde estarán los filtros y los tanques de sedimentación secundaria a una altura de 134 según las curvas del terreno y la tercera donde estará el tanque de cloración a una altura de 130 metros según las curvas de nivel. Ver Apéndice A, Plano # 10.

La planta de tratamiento # 4, recibe el agua residual de 1,037 lotes, el terreno con el que se cuenta para la planta tiene una extensión de 5,088.00 m². El terreno es irregular en su topografía por lo que habrá que trabajarlo en 2 distintas plataformas, la primera donde estarán los tanques de sedimentación primaria y la malla a una altura de 199 metros según las curvas de nivel, la segunda donde estarán los filtros, los tanques de sedimentación secundaria, y el tanque de cloración a una altura de 194 metros según las curvas de nivel. Ver Apéndice A, Plano # 11.

La planta de tratamiento # 5, recibe el agua residual de 720 lotes, el terreno con el que se cuenta para la planta tiene una extensión de 4,800.00 m². El terreno es irregular en su topografía por lo que habrá que trabajarlo en 3 distintas plataformas, la primera donde estarán los tanques de sedimentación primaria y la malla a una altura de 199 metros según las curvas de nivel, la segunda donde estarán los filtros y los tanques de

sedimentación secundaria a una altura de 195 según las curvas del terreno y la tercera donde estará el tanque de cloración a una altura de 193 metros según las curvas de nivel. Ver Apéndice A, Plano # 12.

El área de los distintos terrenos de las plantas de tratamiento es mayor que la requerida para la misma. El área que no se utilizará para el tratamiento de agua se utilizará para secar los lodos retenidos en los tanques de sedimentación. En esta área también se construirá una pequeña bodega donde se puedan guardar las diferentes herramientas y el cloro que se utilizará en la planta.

C. Método de tratamiento

Debido a que el proyecto es un proyecto enfocado a la clase socioeconómica baja (popular), es un proyecto que difícilmente se puede considerar que pague una elevada cuota de mantenimiento de planta. También la planta debe ser de un costo inicial bajo, para que no incida demasiado en el costo del lote. Otro factor importante a tomar en cuenta es que la planta debe utilizar el mínimo equipo mecánico y debe requerir poca energía para que no se abandone su uso en el momento en que falle algún equipo o por su alto costo de operación. Por la otra parte se tienen ciertos requerimientos mínimos que cumplir con el tratamiento de las aguas negras. Para el diseño de las plantas de tratamiento se utilizarán las recomendaciones de CONADEL, que incluyen un tratamiento primario y un

tratamiento secundario. Según CONADEL las aguas negras tratadas antes de ser dispuesta no deben tener valores de contaminantes mayores a:

DBO 5 días	70 mg/litro
DQO	110 mg/litro
Sólidos Disueltos Totales	60 mg/litro

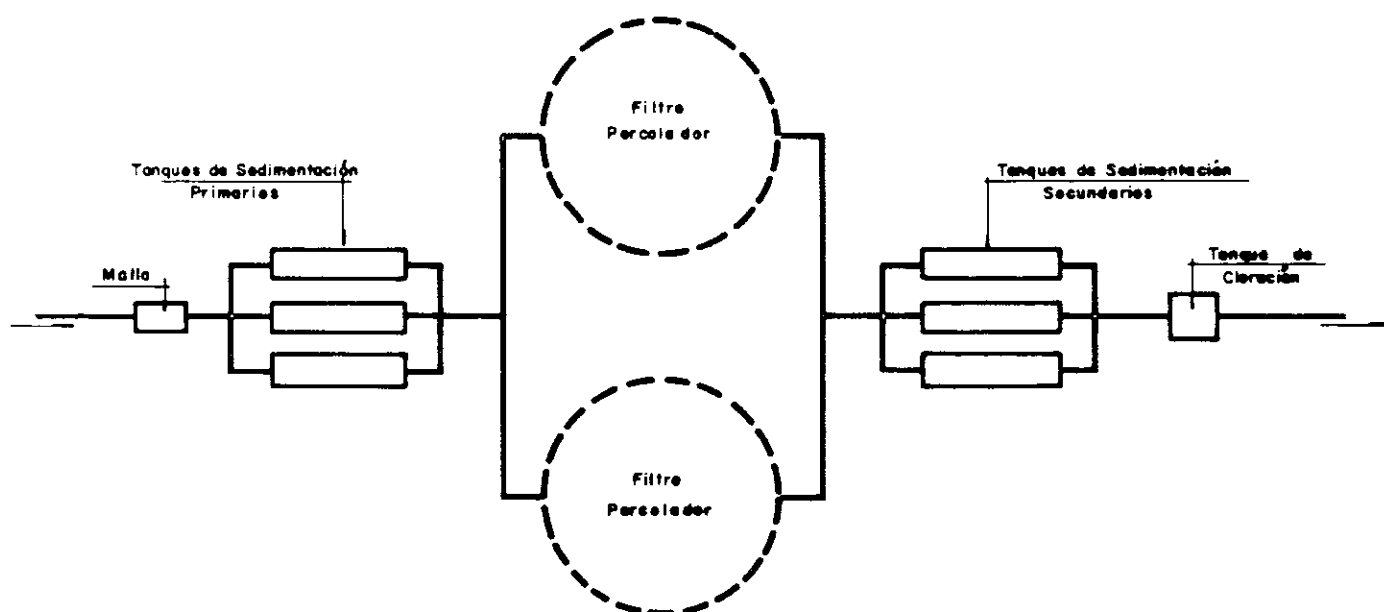
Basándose en los factores antes descritos y que se desea dar un tratamiento adecuado a las aguas negras, el método de tratamiento que se utilizará será:

1. Primero el agua pasara a través de una malla de limpieza manual en la cual se eliminarán los sólidos orgánicos flotantes, los plásticos y otras basuras flotantes grandes.
2. Segundo las aguas negras pasarán por un tanque sedimentador de limpieza manual, donde se sedimentarán las arenillas y parte de los sólidos orgánicos sedimentables. En estos se implementará una trampa de grasa.
3. Tercero las aguas negras pasarán por un filtro percolador, el cual cambia el carácter de la materia orgánica para que ésta pueda ser fácilmente sedimentada después.
4. Cuarto las aguas pasarán por medio de un tanque sedimentador de limpieza manual, igual al primero, en donde toda la materia que cambió en los filtros se sedimentará.
5. Quinto y último tratamiento, las aguas ya tratadas serán desinfectadas con cloro para así ser dispuestas.

Las cinco plantas de tratamiento se construirán de igual manera para facilitar la operación de las mismas, y lo único que variará entre éstas es el volumen de aguas para el cual cada una de éstas será diseñada. Tomando en cuenta que los sedimentadores son de limpieza manual, y los filtros en algún momento podrían tener algún problema o necesitar mantenimiento, todas estas estructuras estarán construidas en duplicado o incluso en triplicado. Los sedimentadores estarán contruidos en triplicado tomando en cuenta que dos funcionaran todo el tiempo y el tercero se utilizará cuando se está limpiando alguno de los otros. Los filtros debido a que no requieren de limpieza se construirán en duplicado tomando en cuenta que ambos funcionarán simultáneamente todo el tiempo. Ver a continuación el diagrama de la planta típica de tratamiento que se construirá en las cinco ubicaciones.

FIGURA 5.1

Diagrama de la Planta de Tratamiento Típica



Debido a que el terreno tiene una pendiente natural, y necesita ser trabajado en plataformas no habrá ningún problema con la pérdida de carga debida a los procesos de tratamiento que se utilizarán.

D. Diseño de la planta de tratamiento

Como se decidió en el anterior capítulo las cinco plantas se construirán de igual manera, la única diferencia en éstas será el volumen de aguas negras que estarán en capacidad de tratar diariamente. Las plantas constarán de cinco pasos en su tratamiento: primero una malla, luego tanques de sedimentación primaria, luego un filtro percolador, luego una sedimentación secundaria y para finalizar se clorará el agua ya tratada.

Para el diseño se utilizarán las siguientes bases:

- Los tanques sedimentadores primarios y los secundarios serán iguales exceptuando que los primarios tendrán una trampa de grasas.
- Tanto los sedimentadores primarios como los secundarios se construirán en triplicado tomando en cuenta que dos funcionarán todo el tiempo y el tercero se utilizará cuando alguno de los otros esté en limpieza.
- La velocidad de flujo de los tanques sedimentadores 20,000 litros/ metro² por día.
- La relación ente largo y ancho en los tanques sediemntadores varía $1 / 2 < A/L < 1 / 5$.
- Los filtros estarán construidos en duplicado trabajando continuamente ambos.

- Los filtros se diseñarán como filtros de baja carga hidráulica y ésta será de 3 metros cúbicos/metro cuadrado por día.
- Los filtros no tendrán ninguna recirculación, y su medio filtrante será piedra o escoria.
- El clorador será un clorador de flujo tipo canasta y se hará un tanque que le permita un periodo de retención al agua de 15 minutos.

1. Diseño de las mallas:

Las mallas a utilizarse en las cinco plantas de tratamiento de aguas negras, serán del tipo de mallas de limpieza manual. Estas estarán colocadas a un ángulo de 60 grados con respecto a la horizontal, las barras estarán separadas 1" o 2.5 centímetros, y el área de la malla será dos veces el área de la tubería en que entran las aguas a la planta. Ver Apéndice B Plano # 1, diagrama típico de las mallas.

2. Diseño de los tanques sedimentadores primarios y secundarios:

Los tanques de sedimentación tendrán una profundidad variable dependiendo del ancho ente 1.3 m y 2 m, el fondo de los tanques tendrán un desnivel del 5% hacia una válvula de limpieza, los vertederos de entrada y de salida serán del tamaño del ancho del tanque. El agua al salir de los tanques de sedimentación, se transportará en tubería a presión hacia los distribuidores de los filtros. Los tanques tendrán entre 0.4m y 0.75m de desnivel adicionales a la altura del líquido, y la parte superior de las bordas estarán a 0.3 m por encima del nivel del suelo y del nivel del agua. La trampa de grasa en los tanques de sedimentación primarios será una pantalla

sumergida 0.3 metros. Ver Apéndice B plano # 2, el diagrama típico de los tanques sedimentadores.

Planta # 1

Volumen de Diseño = 2,933,199.5 litros/día

$$\begin{aligned} \text{Area Total de Tanques de Sed.} &= 2,933,199.5 / 20,000 \\ &= \mathbf{146.66 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area de cada Tanque} &= 146.66/2 \\ &= \mathbf{73.33 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Relación Ancho/Largo = 1/3

Ancho = 4.94m se redondea a **5 m**

Largo = 3* 5 = **15 m**

Una Profundidad de líquido de **2m** y **0.75m** de desnivel para el almacenamiento de lodos.

Con los anteriores datos y tomando en cuenta que todo el caudal de la planta se tratará en 14 horas el período de retención de las aguas negras en los tanques de sedimentación es de: **P.Ret.= 1 hora 25 minutos**

Planta # 2

Volumen de Diseño = 815,363 litros/día

$$\begin{aligned} \text{Area Total de Tanques de Sed.} &= 815,363 / 20,000 \\ &= \mathbf{40.77 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area de cada Tanque} &= 40.77/2 \\ &= \mathbf{20.38 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Relación Ancho/Largo = 1/3

Ancho = 2.61m se redondea a **2.5 m**

Largo = $20.38/2.61 = 8.15$ m que se redondeará a **8.5 m**

Una Profundidad de líquido de **1.5m** y **0.45m** de desnivel para el almacenamiento de lodos.

Con los anteriores datos y tomando en cuenta que todo el caudal de la planta se tratará en 14 horas el período de retención de las aguas negras en los tanques de sedimentación es de: **P.Ret.= 1 hora 6 minutos**

Planta # 3

Volumen de Diseño = 409,302.5 litros/día

Area Total de Tanques de Sed. = $409,302.5 / 20,000$
= **20.47m²**

Area de cada Tanque = $20.47/2$
= **10.23 m²**

Relación Ancho/Largo = $1/4$

Ancho = 1.6m se redondea a **2 m**

Largo = $4 * 1.6 = 7$ m

Una Profundidad de líquido de **1.3m** y **0.4m** de desnivel para el almacenamiento de lodos.

Con los anteriores datos y tomando en cuenta que todo el caudal de la planta se tratará en 14 horas el período de retención de las aguas negras en los tanques de sedimentación es de: **P.Ret.= 1 hora 1 minutos**

Planta # 4

Volumen de Diseño = 840,488.5 litros/día

Area Total de Tanques de Sed. = $840,488.5 / 20,000$
= **42.02 m²**

$$\begin{aligned} \text{Area de cada Tanque} &= 42.02/2 \\ &= \mathbf{21.1 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Relación Ancho/Largo} = 1/3$$

$$\text{Ancho} = 2.65\text{m se redondea a } \mathbf{2.5 \text{ m}}$$

$$\text{Largo} = 21.1/2.5 = 8.44 \text{ que se redondeara a } \mathbf{9 \text{ m}}$$

Una Profundidad de líquido de **1.5m** y **0.5m** de desnivel para el almacenamiento de lodos.

Con los anteriores datos y tomando en cuenta que todo el caudal de la planta se tratará en 14 horas el período de retención de las aguas negras en los tanques de sedimentación es de: **P.Ret.= 1 hora 8 minutos**

Planta # 5

$$\text{Volumen de Diseño} = 583,560 \text{ litros/día}$$

$$\begin{aligned} \text{Area Total de Tanques de Sed.} &= 583,560 / 20,000 \\ &= \mathbf{29.18 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area de cada Tanque} &= 29.18/2 \\ &= \mathbf{14.59 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Relación Ancho/Largo} = 1/4$$

$$\text{Ancho} = 1.91\text{m se redondea a } \mathbf{2 \text{ m}}$$

$$\text{Largo} = 4 * 1.91 = 7.64\text{m que se redondeará a } \mathbf{8 \text{ m}}$$

Una Profundidad de líquido de **1.3m** y **0.45m** de desnivel para el almacenamiento de lodos.

Con los anteriores datos y tomando en cuenta que todo el caudal de la planta se tratará en 14 horas el período de retención de las aguas negras en los tanques de sedimentación es de: **P.Ret.= 1 hora**

3. Diseño de los filtros percoladores:

Los filtros percoladores todos tendrán una profundidad de 2m, el medio filtrante será piedra o escoria, el distribuidor de las aguas negras se comprará a la medida del radio del tanque y la carga hidrostática con la que se cuenta, y los filtros no tendrán recirculación, para evitar el uso de bombas. Ver Apéndice B plano # 3 sección típica de los filtros percoladores.

Planta # 1

Volumen de Diseño = 2,933,199.5 litros/día

$$\begin{aligned} \text{Area Total de Filtros} &= 2,933,199.5/3,000 \\ &= \mathbf{977.73 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area Cada Filtro} &= 977.3 / 2 \\ &= \mathbf{488.87 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Radio del Filtro} &= \sqrt{(A/\pi)} = \sqrt{(488.87/\pi)} \\ &= 12.47 \text{ m que se redondeará a } \mathbf{13 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area Real de Filtros} &= \pi R^2 * 2 \text{ tanques} = 13^2 * \pi * 2 \\ &= \mathbf{1,061.86 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Planta # 2

Volumen de Diseño = 815,363 litros/día

$$\begin{aligned} \text{Area Total de Filtros} &= 815,363/3,000 \\ &= \mathbf{271.79 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Area Cada Filtro} &= 271.79 / 2 \\
 &= \mathbf{135.89 \text{ m}^2} \\
 \text{Radio del Filtro} &= \sqrt{(A/\pi)} = \sqrt{(135.79/\pi)} \\
 &= 6.6 \text{ m que se redondeará a } \mathbf{7 \text{ m}} \\
 \text{Area Real de Filtros} &= \pi R^2 * 2 \text{ tanques} = 7^2 * \pi * 2 \\
 &= \mathbf{307.88 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

Planta # 3

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de Diseño} &= 409,302.5 \text{ litros/día} \\
 \text{Area Total de Filtros} &= 409,302.5 / 3,000 \\
 &= \mathbf{136.43 \text{ m}^2} \\
 \text{Area Cada Filtro} &= 136.43 / 2 \\
 &= \mathbf{68.22 \text{ m}^2} \\
 \text{Radio del Filtro} &= \sqrt{(A/\pi)} = \sqrt{(68.22/\pi)} \\
 &= 4.66 \text{ m que se redondeará a } \mathbf{5 \text{ m}} \\
 \text{Area Real de Filtros} &= \pi R^2 * 2 \text{ tanques} = 5^2 * \pi * 2 \\
 &= \mathbf{157.08 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

Planta # 4

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de Diseño} &= 840,488.5 \text{ litros/día} \\
 \text{Area Total de Filtros} &= 840,488.5 / 3,000 \\
 &= \mathbf{280.16 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Area Cada Filtro} &= 280.16 / 2 \\
 &= \mathbf{140.08 \text{ m}^2} \\
 \text{Radio del Filtro} &= \sqrt{(A/\pi)} = \sqrt{(140.08/\pi)} \\
 &= 6.68 \text{ m que se redondeará a } \mathbf{7 \text{ m}} \\
 \text{Area Real de Filtros} &= \pi R^2 * 2 \text{ tanques} = 13^2 * \pi * 2 \\
 &= \mathbf{307.88 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

Planta # 5

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de Diseño} &= 583,560 \text{ litros/día} \\
 \text{Area Total de Filtros} &= 583,560 / 3,000 \\
 &= \mathbf{194.52 \text{ m}^2} \\
 \text{Area Cada Filtro} &= 194.52 / 2 \\
 &= \mathbf{97.26 \text{ m}^2} \\
 \text{Radio del Filtro} &= \sqrt{(A/\pi)} = \sqrt{(97.26/\pi)} \\
 &= 5.56 \text{ m que se redondeará a } \mathbf{6 \text{ m}} \\
 \text{Area Real de Filtros} &= \pi R^2 * 2 \text{ tanques} = 6^2 * \pi * 2 \\
 &= \mathbf{226.2 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

Los filtros tendrán adicionalmente 0.35 m de altura que será el drenaje por donde fluirán las aguas. El fondo del filtro tendrá una inclinación del 2% del centro hacia los lados, en donde habrá un canal que recolectará esta agua. Las aguas negras fluirán en el canal hacia los tanques de sedimentación secundarios.

El agua de los tanques de sedimentación primarios se conducirá al distribuidor de los filtros en una tubería a presión. En cada una de las

distintas plantas, los filtros cuentan con una carga de presión hidrostática que hace girar al distribuidor, y ésta es la diferencia de altura entre los tanques de sedimentación primarios y la altura del filtro. En la planta # 1 la carga que se tiene es 5.5 m, en la planta # 2 la carga que se tiene es 4.5m, en la planta # 3 la carga que se tiene es 1.5 m , en la planta # 4 la carga que se tiene es 2.5 m y en la planta # 5 la carga que se tiene es 2.5 m. Con base en la carga con que se cuenta y el radio del tanque se compraran los distribuidores de agua que se utilizarán.

4. Diseño del tanque de cloración:

El tanque de cloración se diseñará tomando en cuenta que se desea obtener un período de retención de 15 minutos. La cloración se hará por medio de un clorador de flujo de tipo de canasta, el cual funcionará por medio de pastillas. El agua recibirá una cloración de 1 parte por millón que es el equivalente a 3 mg/litro para así obtener 1.4 mg/litro de cloro residual en las aguas.

$$\text{Vol. Tanque Cloración} = (\text{Volumen de diseño} * 15 \text{ min}) / (14 \text{ horas} * 60 \text{ min})$$

Planta # 1

$$\begin{aligned} \text{Vol. Tanque} &= 2,933,199.5 / (14 * 4) \\ &= 52,378 \text{ litros o } \mathbf{52.4 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Profundidad} = \mathbf{2 \text{ m}}$$

$$\text{Ancho} = \text{Largo} = \mathbf{5 \text{ m}}$$

Planta # 2

$$\begin{aligned}\text{Vol. Tanque} &= 815,363/(14*4) \\ &= 14,560 \text{ litros o } 14.5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Profundidad} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = \text{Largo} = 3 \text{ m}$$

Planta # 3

$$\begin{aligned}\text{Vol. Tanque} &= 409,305.5/(14*4) \\ &= 7,308 \text{ litros o } 7.5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Profundidad} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = \text{Largo} = 2.75 \text{ m}$$

Planta # 4

$$\begin{aligned}\text{Vol. Tanque} &= 840,488.5/(14*4) \\ &= 15,008 \text{ litros o } 15 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Profundidad} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = \text{Largo} = 3 \text{ m}$$

Planta # 5

$$\begin{aligned}\text{Vol. Tanque} &= 583560/(14*4) \\ &= 10,420 \text{ litros o } 10.5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Profundidad} = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = \text{Largo} = 3 \text{ m}$$

5. Diseño de los canales y la tubería:

Todos los canales que conectarán los distintos procesos del tratamiento de las aguas negras dentro de la planta, serán construidos utilizando los siguiente parámetros: rectangulares de concreto alisado, una

velocidad mínima de 1 metro por segundo, una pendiente en todo su largo del 2%, y el caudal con el que se diseñarán será 2.5 veces el caudal promedio cubriendo así las horas pico. Las dimensiones de los canales que se usarán son: planta # 1, 0.4 m de ancho y 0.5 m de alto, la planta # 2 y la # 4 tendrán 0.3 de ancho y 0.5 de alto, y las plantas # 3 y # 5 tendrán 0.2 de ancho y 0.4 de alto. Al calcular las velocidades utilizando la fórmula de Manning da velocidades mayores a 1 metro por segundo, y las aguas negras en ningún momento tendrán una altura en el canal mayor 0.3 metros.

Las tuberías que conectan los tanques de sedimentación primaria y los filtros percoladores serán construidas de PVC. Estas al igual que los canales estarán capacitadas para conducir 2.5 veces el caudal promedio. En la planta # 1 se utilizará tubería de 10 pulgada, en las plantas # 2 y # 4 se utilizará tubería de 8 pulgadas y en la planta # 3 y # 5 se utilizará tubería de 6 pulgadas. Esta tubería está capacitada para conducir caudales mucho mayores a los que se transportarán y la velocidad de flujo estará regulada por los distribuidores de los filtros.

Con base en los anteriores cálculos ya se tiene el diseño de las cinco distintas plantas de tratamiento. En el Apéndice B se pueden observar las distintas plantas y cortes de cada una de las plantas de tratamiento; en el Apéndice B, plano # 4 la planta # 1, plano # 5 la planta #2, plano # 6 la planta # 3, plano # 7 la planta # 4 y el plano # 8 la planta # 5. La distribución de los tanques en el terreno y las cotas de terreno en que se encontrará cada plataforma se pueden observar en el Apéndice A, plano # 8 la planta # 1,

- Sedimentación con trampa de grasa:
 - DBO 5 días 30 %
 - DQO 30%
 - Sólidos Disueltos Totales 50%
 - Patógenos Coliformes Totales 10%
 - Nutrientes de Fósforo y Nitrógeno 0%

- Filtros percoladores + sedimentación
 - DBO 5 días 85 %
 - DQO 70 %
 - Sólidos Disueltos Totales 90 %
 - Patógenos Coliformes Totales 25%
 - Nutrientes de Fósforo y Nitrógeno 10%

- Desinfección por medio de cloro
 - DBO 5 días 0%
 - DQO 0%
 - Sólidos Disueltos Totales 0%
 - Patógenos Coliformes Totales 99%
 - Nutrientes de Fósforo y Nitrógeno 0%

Con los valores de contaminantes que ingresan las aguas negras a la planta de tratamiento, y los valores de eliminación de cada uno de éstos podemos calcular así los alcances que tendrá la planta de tratamiento.

TALBLA 5.1

Valores de Contaminantes, Porcentajes de Eliminación en Cada Proceso, y Valores de Contaminantes a la Salida

	Valores con los que Ingresan a la Planta	% de reducción Por medio de Sedimentación Primaria	% de reducción por medio de Filtros Percoladores	% de reducción por medio de Cloración	Valores con los que Sale de la Planta de Tratamiento
DBO 5 días	300 mg/litro	30	85	0	31.5 mg/litro
DQO	500 mg/litro	30	70	0	105 mg/litro
Sólidos Dis Totales	500 mg/litro	50	90	0	25 mg/litro
Patógenos	10,000,000 unid./litro	10	25	99	67,500 unid./litro
Nutrientes	30 mg/litro	0	10	0	27 mg/litro

En la tabla anterior podemos observar que los valores de contaminantes que salen de la planta de tratamiento son menores que los sugeridos en la propuesta de CONADEL, que es lo que está utilizando CONAMA como base para el diseño. En la propuesta de CONADEL no se permite: una DBO 5 días mayor de 70 mg/litro, de la planta diseñada saldrán

solo 31.5 mg/litro, una DQO no mayor de 110 mg/litro, de la planta diseñada saldrán solo 105 mg/litro, y un total de sólidos disueltos de 60 mg/litro , y de las plantas diseñadas sólo saldrán 25 mg/litro.

En conclusión se puede decir que el alcance del proyecto dado en porcentajes de reducción de cada uno de los contaminantes es:

- DBO 5 días una reducción del	89.5 %
- DQO una reducción del	79 %
- Sólidos Disueltos totales una reducción del	95 %
- Patógenos una reducción del	99.33 %
- Nutrientes una reducción del	10 %

Todos los valores de los contaminantes son menores que los máximos permisibles, y las reducciones de contaminantes son altas, por lo que podemos decir que el tratamiento dado a las aguas negras en la planta es el adecuado.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

En la actualidad el tratamiento de las aguas negras es una necesidad y no una opción.

En Guatemala prácticamente no hay limitaciones legales que nos sirvan de referencia. Existe un reglamento pero sólo pide un tratamiento de sedimentación aunque limita los sólidos sedimentables. Es necesario un reglamento de aguas adecuado a la realidad del país.

El diseño de la planta de tratamiento que se utilizará es el adecuado para el proyecto, puesto que reduce los distintos contaminantes: DBO 5 días en un 89.5%, DQO en un 79%, Sólidos disueltos Totales en un 95%, Patógenos en un 99.33% y Nutrientes en un 10%; también su funcionamiento es sencillo, no tiene costos de operación altos y no necesita de mano de obra con un alto grado de tecnificación.

El proceso de los filtros percoladores para el tratamiento de aguas negras, es de gran utilidad en áreas rurales puesto que no necesita energía, no necesita equipo mecánico, no necesita mano de obra calificada para su funcionamiento y los porcentajes de eliminación de contaminantes son altos.

Si se desea proteger los cuerpos de agua, la disposición de las aguas ya tratadas debe ser por medio de irrigación, infiltración o utilizarlas para el cultivo de plantas acuáticas que utilizan el nitrógeno y el fósforo.

Las plantas paquete son de gran utilidad para proyectos con áreas físicas reducidas para tratar las aguas negras, y enfocados a una población socioeconómica de altos recursos o para cabeceras departamentales, por su alto costo de operación, su necesidad constante de energía eléctrica y su alto costo inicial de inversión.

B. Recomendaciones

Los lodos retenidos en los tanques de sedimentación poseen grandes cualidades como abono orgánico una vez se hayan secado. Estos lodos se podrían vender y así cubrir parte de los costos de operación.

En el momento de diseñar una planta de tratamiento, se debe tener en primer lugar una definición de qué es lo importante a tratar. Si es suficiente eliminar las molestias en el medio, si lo más importante es el aspecto de la salud, o si lo que se desea es la protección de un cuerpo de agua. Hacer algo es mejor que no hacer nada, aunque hacer algo que no tenga utilidad es nada, por lo que es importante que el procedimiento que se utilice esté dentro de las capacidades técnico económicas de la población a la que está dirigida.

Difundir este diseño de planta de tratamiento en las áreas rurales del país, para así colaborar con el saneamiento del medio ambiente. Este diseño es adecuado dentro de las capacidades técnico económicas de las poblaciones rurales en Guatemala.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddy, McGRAW-HILL, Tercera Edición, México 1996, 1459pp.
2. Ingeniería Sanitaria, W.A. Hardenbergh y Edward B. Rodie, Compañía Editorial Continental, México 1968, 584pp.
3. Estándares Gráficos de Arquitectura, Charles George Ramsey y Harold Reeve Sleeper, Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México
4. Manual de Cálculos para las Ingeniarais, McGRAW-HILL, México 1998
5. Tratamiento de Cloacales para Poblaciones de Bajos Recursos, Asociación de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AGISA, Conferencia: Ing. Alfredo Sazarata Sagastume, Guatemala 1997.
6. Agua, su Calidad y su Tratamiento, Julio Colon Manrique, Union Tipografica Editorial Hispano Americana, Mexico 1968, 564pp.
7. Tratamiento de Aguas Residuales PURESTREAM, Tratamiento de Reactores de Secuencias en tandas SBR, Purestream Inc.(folleto)

8. Tratamiento de Aguas Residuales PURESTREAM, Tratamiento Mediante Aireación Prolongada, Purestream Inc. (folleto)

9. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales CROMAGLASS, Corporación Cromaglass. (folleto)

10. Sistemas de Tratamiento de Agua y Medio Ambiente ACQUA HISPANIC, Specco Enviromental Company Inc.

11. Wastewater Treatment U.S.FILTER, United States Filter Corporation. (folleto)

12. Ing. Mirtala de Zepeda, CORPEMA S. A., (entrevista)

APENDICE A

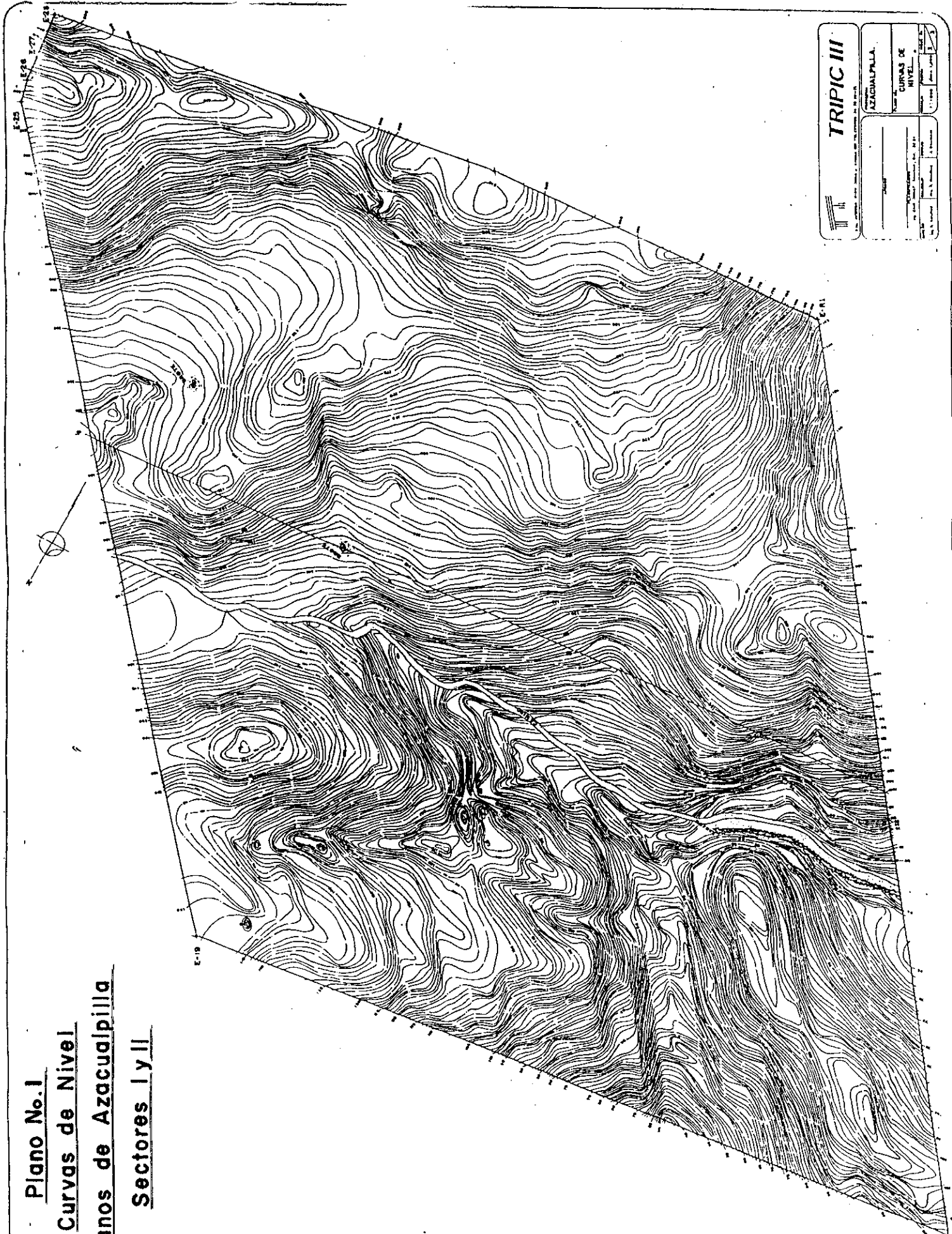
- Plano # 1:** Curvas de nivel Llanos de Azacualpilla sectores I y II
- Plano # 2:** Curvas de nivel Llanos de Azacualpilla sector III
- Plano # 3:** Planta general Llanos de Azacualpilla sectores I y II
- Plano # 4:** Planta general Llanos de Azacualpilla sector III
- Plano # 5:** Distribución de áreas de descarga por planta de tratamiento
Llanos de Azacualpilla sectores I y II
- Plano # 6:** Distribución de áreas de descarga por planta de tratamiento
Llanos de Azacualpilla sector III
- Plano # 7:** Planta general de ubicación y colindancias, Llanos de
Azacualpilla sectores I, II y III
- Plano # 8:** Curvas de nivel y distribución de la planta de tratamiento # 1
- Plano # 9:** Curvas de nivel y distribución de la planta de tratamiento # 2
- Plano # 10:** Curvas de nivel y distribución de la planta de tratamiento # 3
- Plano # 11:** Curvas de nivel y distribución de la planta de tratamiento # 4
- Plano # 12:** Curvas de nivel y distribución de la planta de tratamiento # 5

Plano No. I

Curvas de Nivel

lanos de Azacualpilla

Sectores I y II



TRIPIC III

AZACUALPILLA

CURVAS DE NIVEL

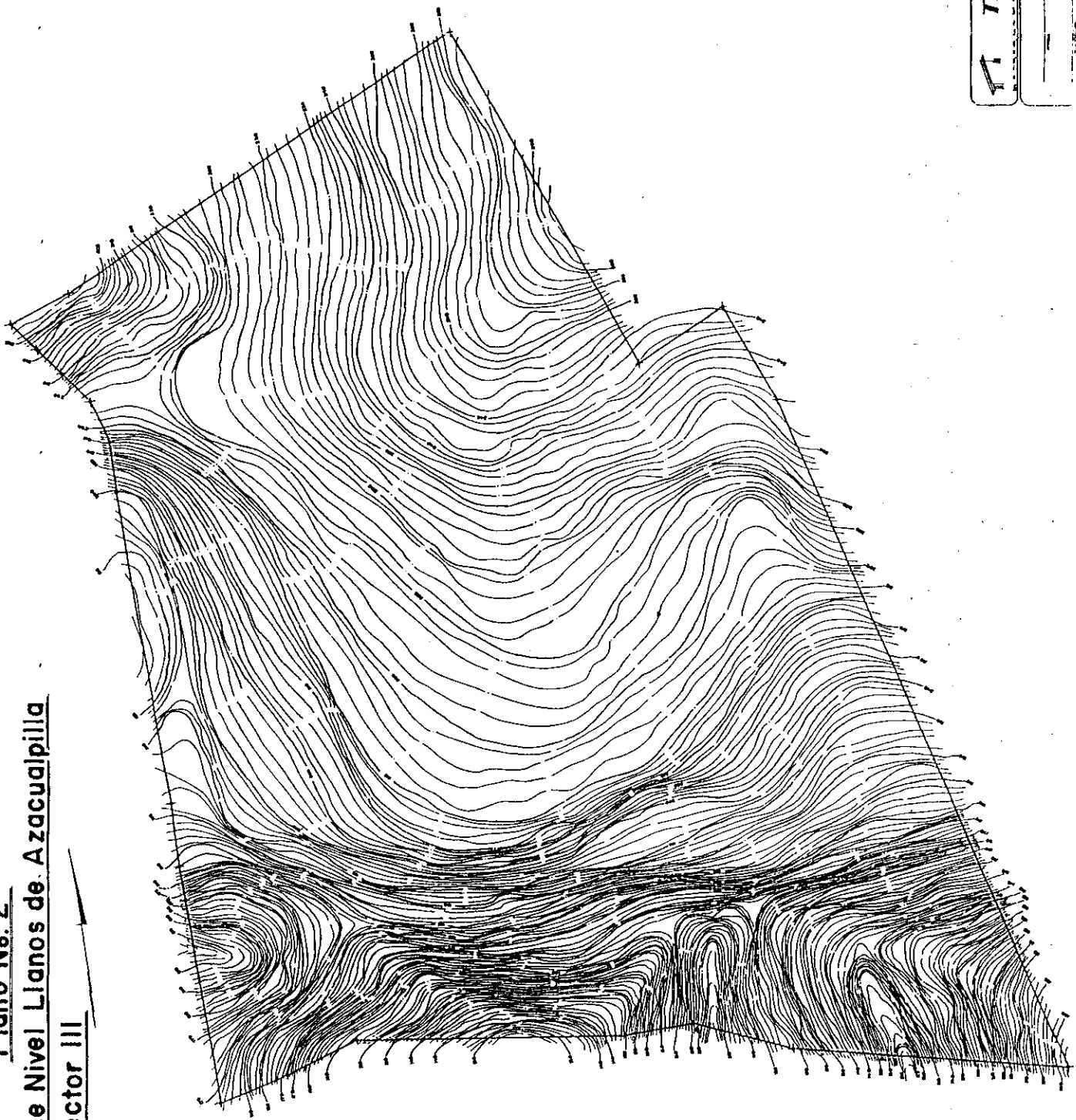
1:50,000

1950

1:50,000

1950

Plano No. 2
Curvas de Nivel Llanos de Azacualpilla
Sector III



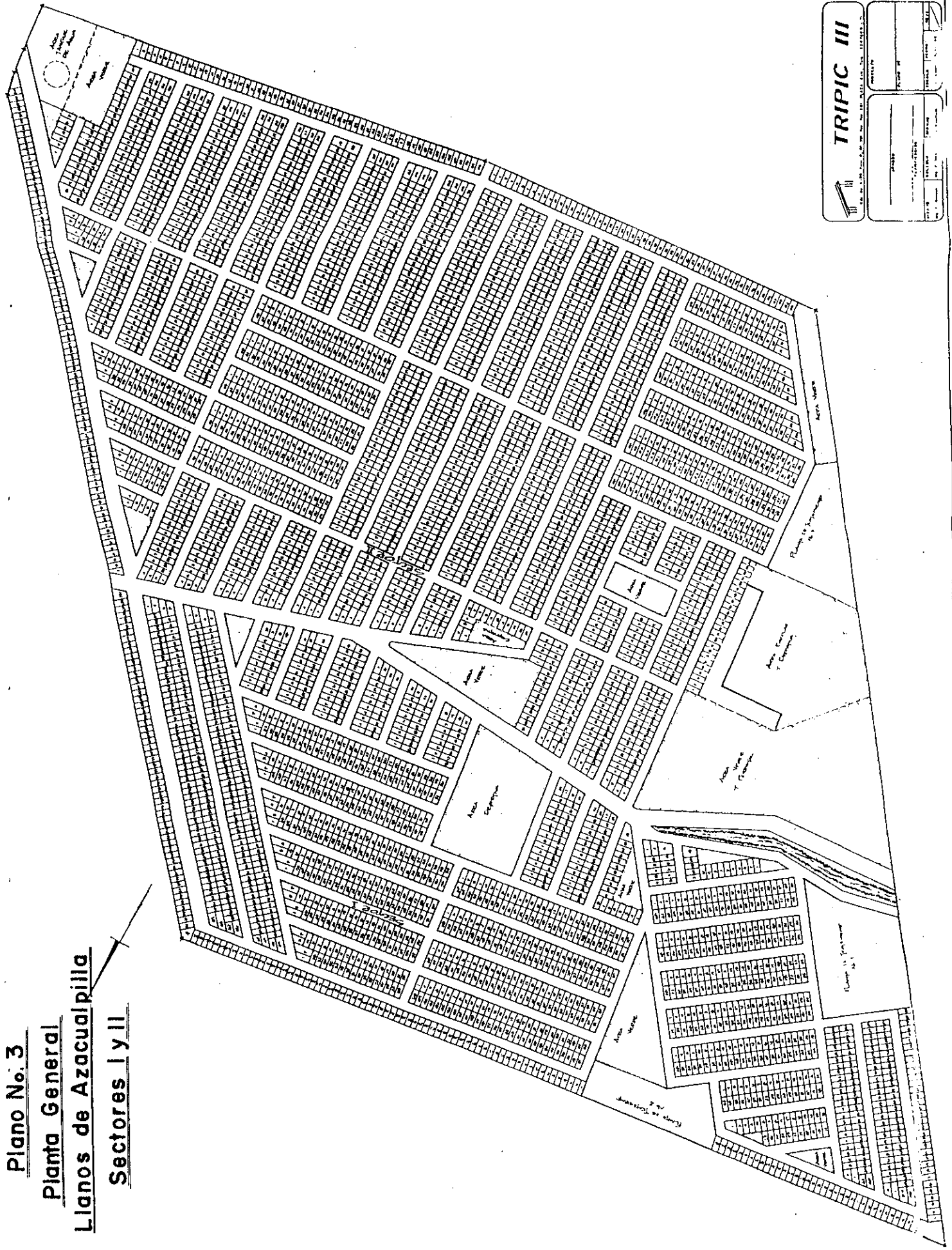
	TRIPIC III	
	Llanos de Azacualpilla Sector III	
Escala: 1:50,000 Proyección: UTM Datum: WGS 84		Fecha: _____ Autor: _____ Revisor: _____

Plano No. 3

Planta General

Llanos de Azacualpilla

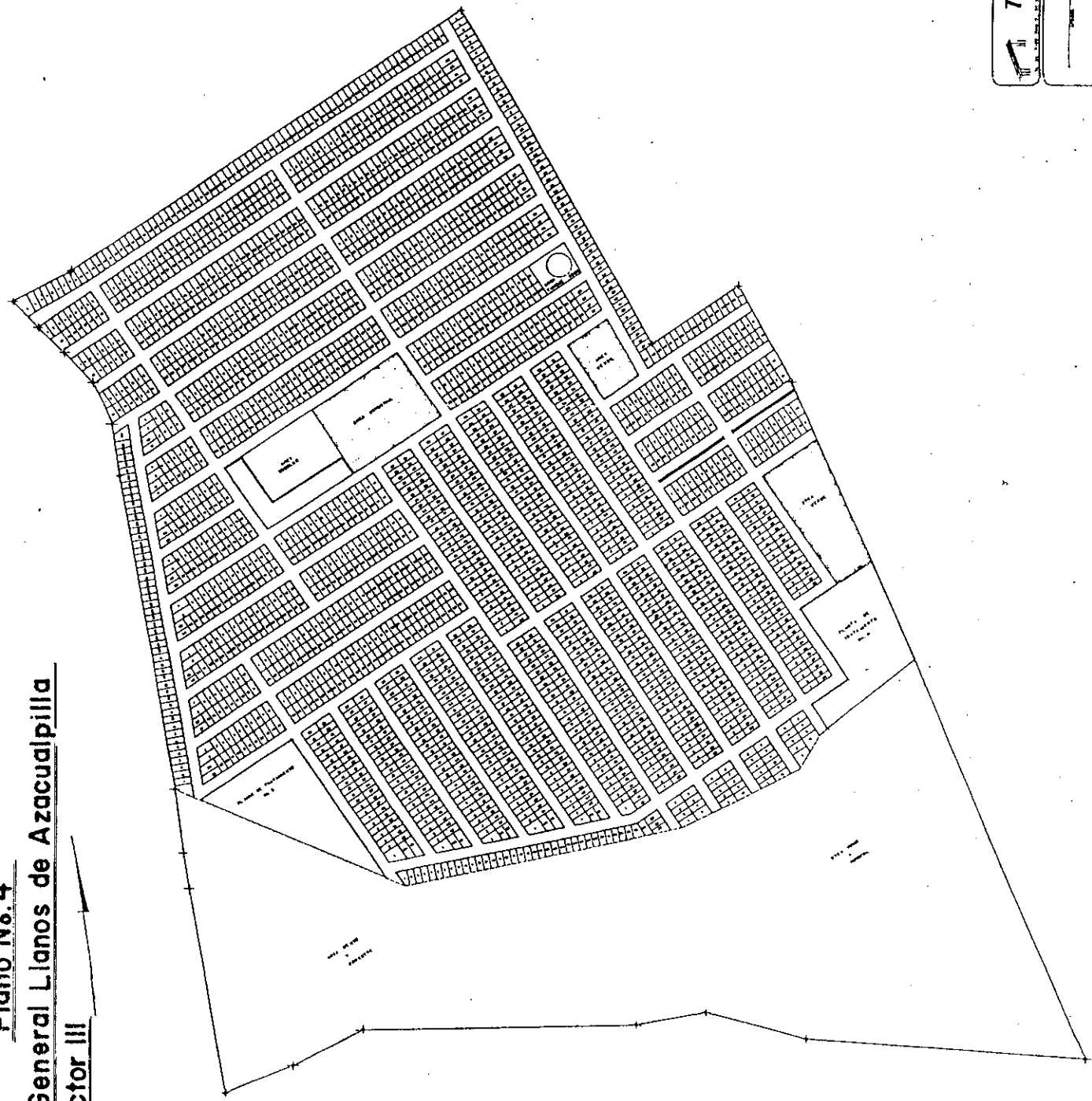
Sectores I y II



TRIPIC III

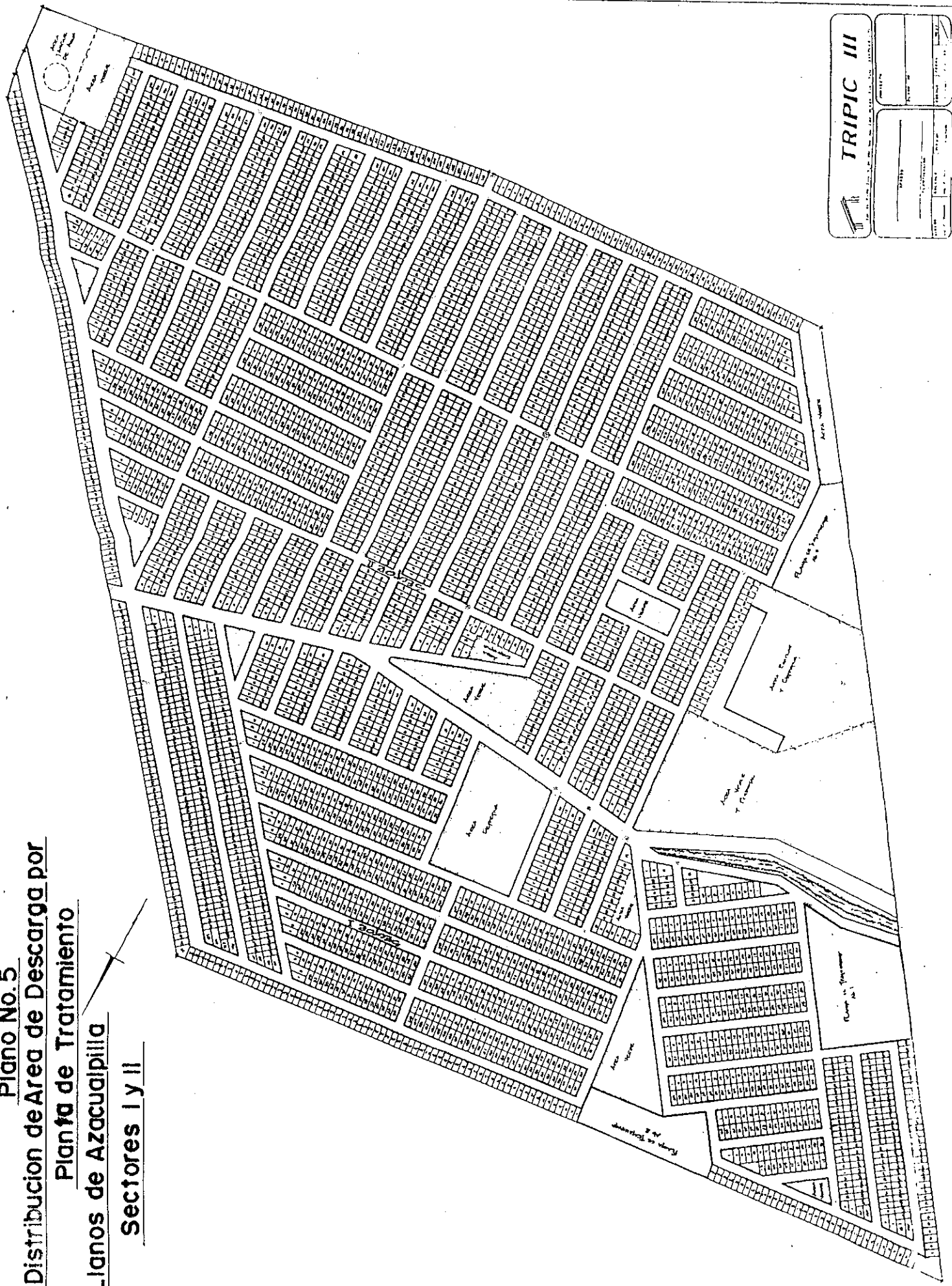
PROYECTO	
FECHA	
ESTADO	
OTRO	

Plano No. 4
Planta General Llanos de Azacualpilla
Sector III



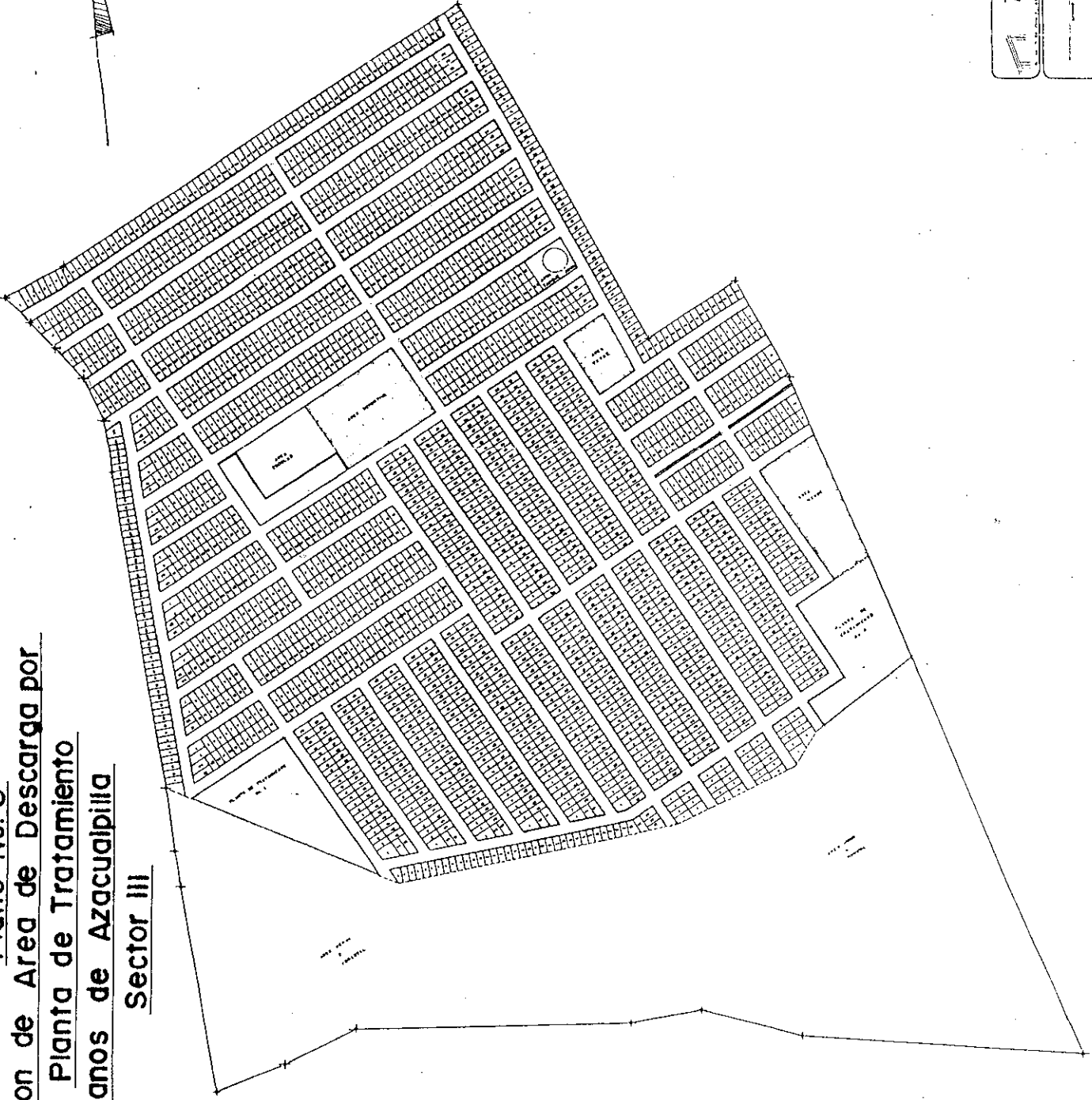
TRIPIC III

Piano No. 5
Distribucion de Area de Descarga por
Planta de Tratamiento
Llanos de Azacualpilla
Sectores I y II



TRIPIC III

Plano No. 6
Distribucion de Area de Descarga por
Planta de Tratamiento
Llanos de Azacualpilla
Sector III

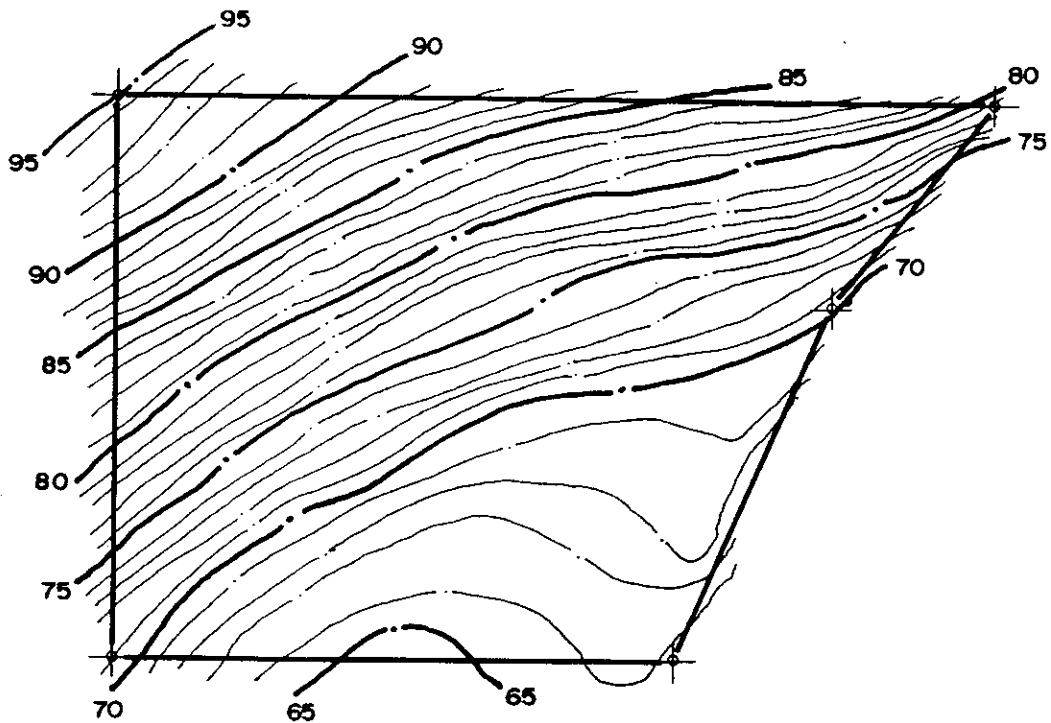


TRIPIC III

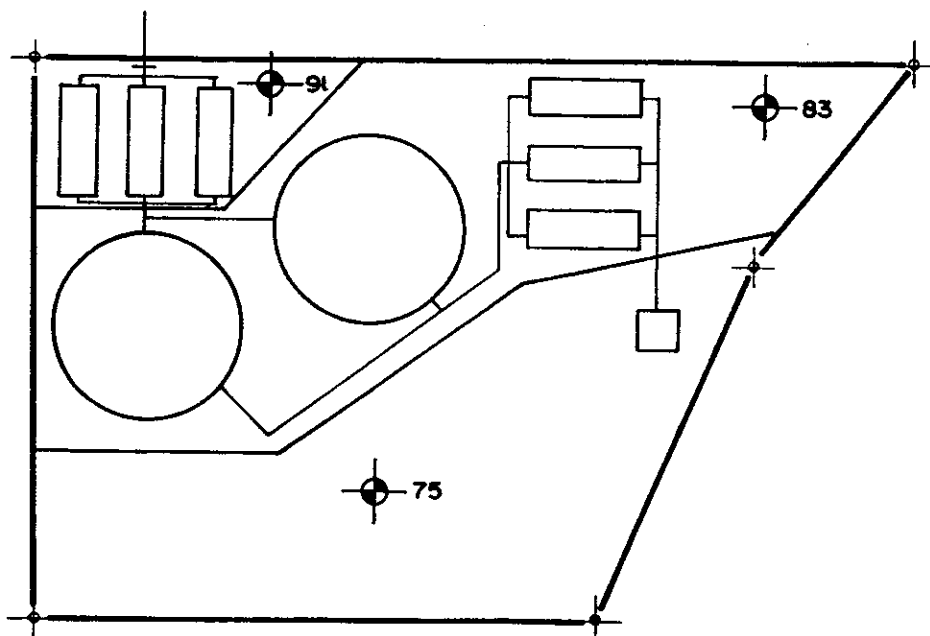
Plano No. 8

Planta de Tratamiento No. 1

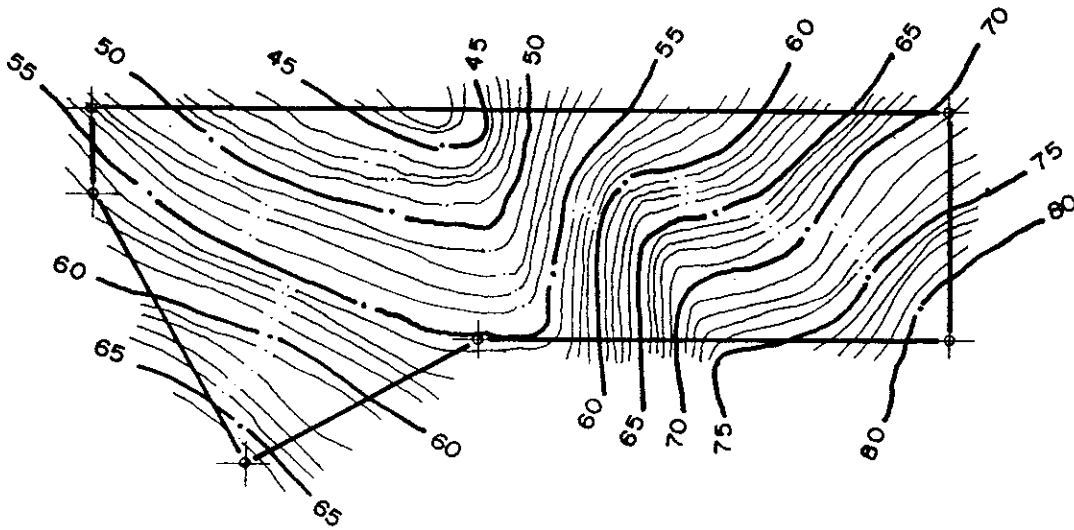
96



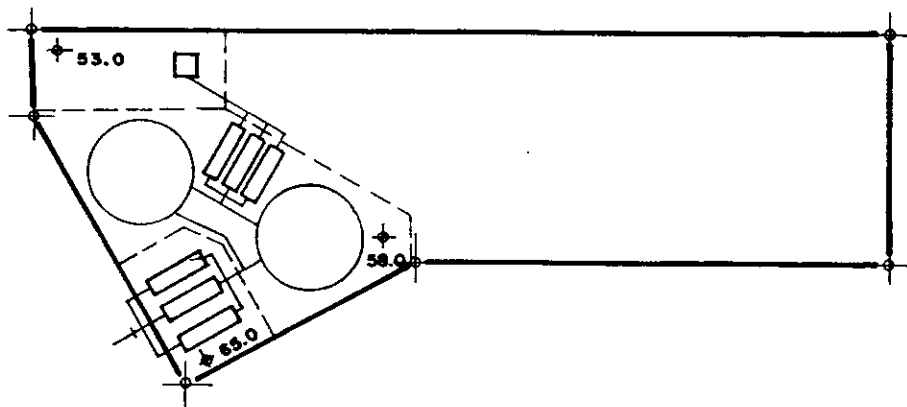
Curvas de Nivel del
Terreno



Distribución del Proceso de
Tratamiento

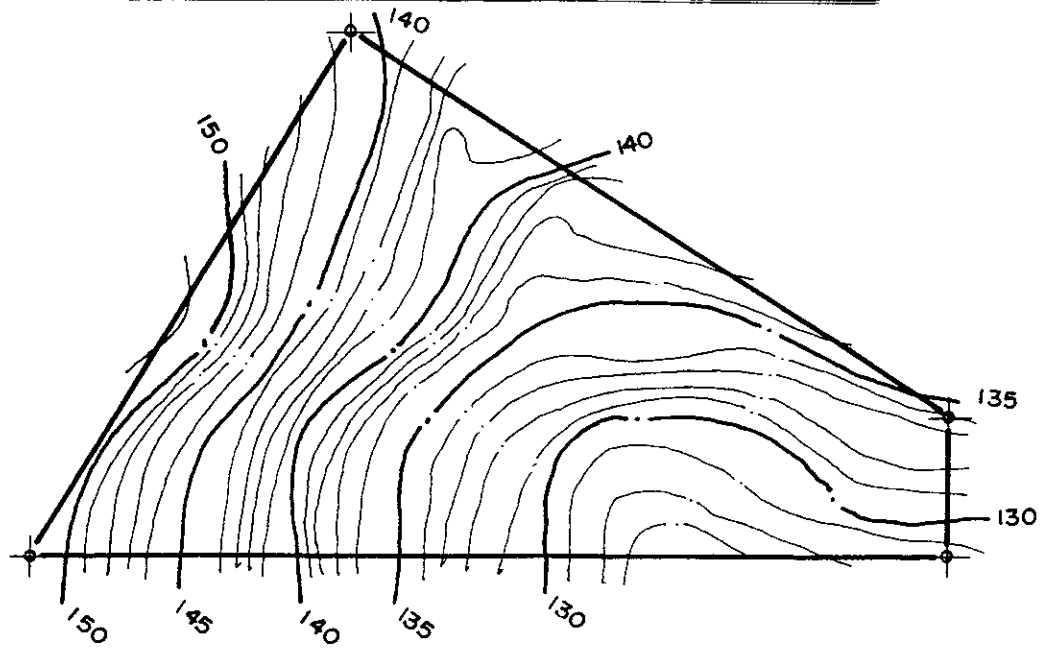


Curvas de Nivel del
Terreno

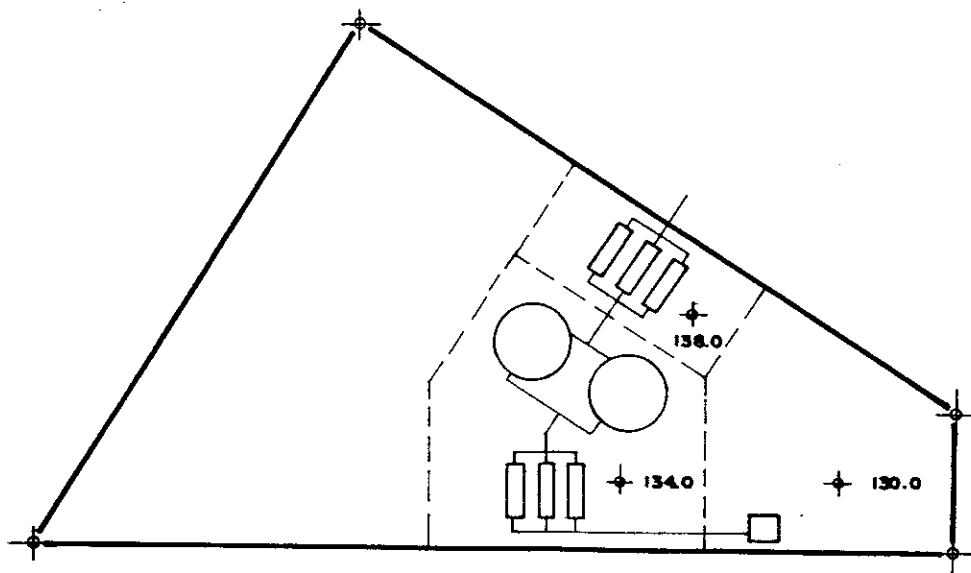


Distribución del Proceso de
Tratamiento

Plano No. 10
Planta de Tratamiento No. 3



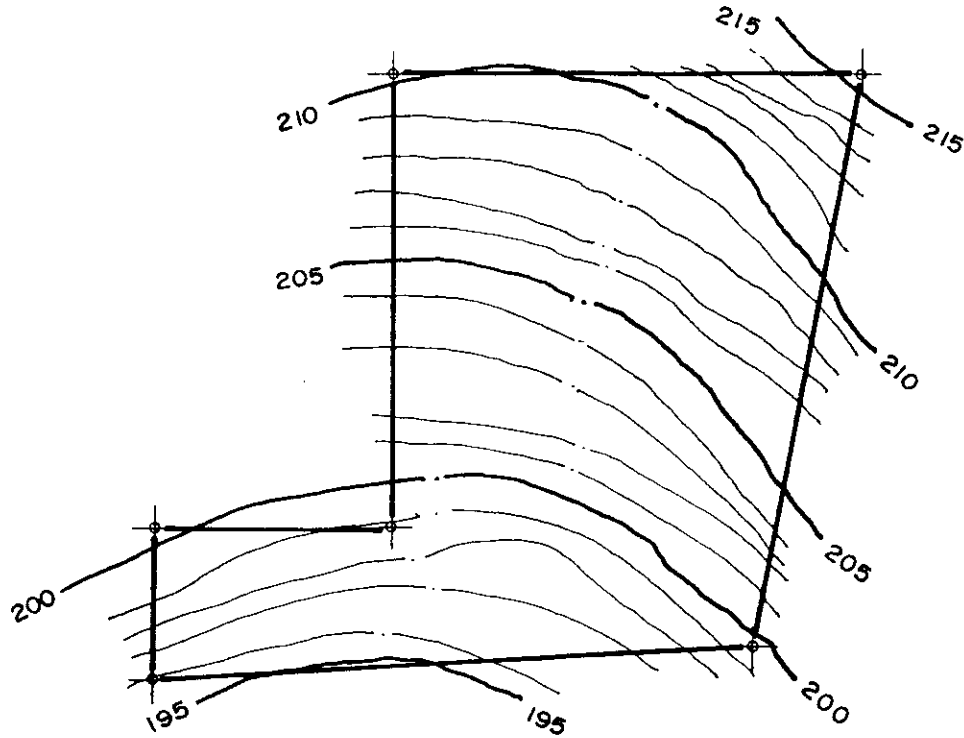
Curvas de Nivel del
Terreno



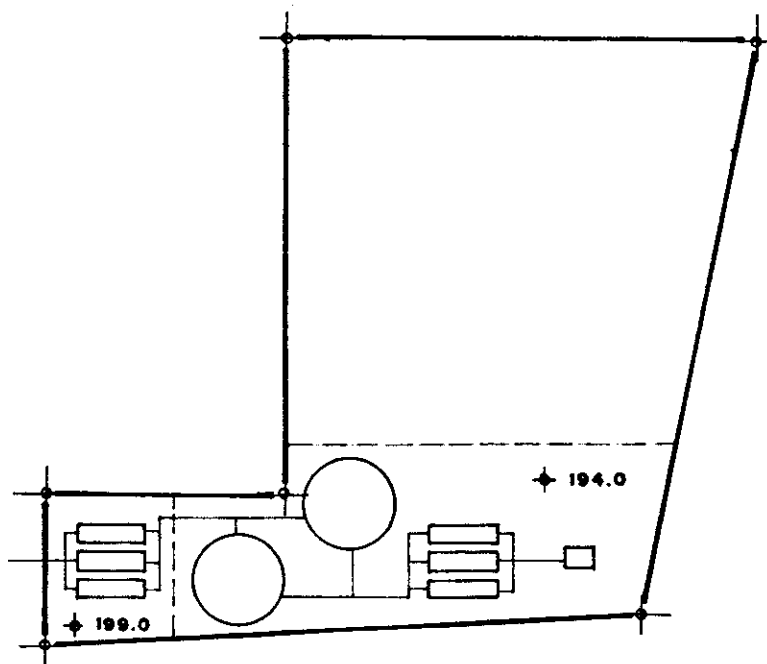
Distribución del Proceso de
Tratamiento

Plano No. II
Planta de Tratamiento No. 4

99



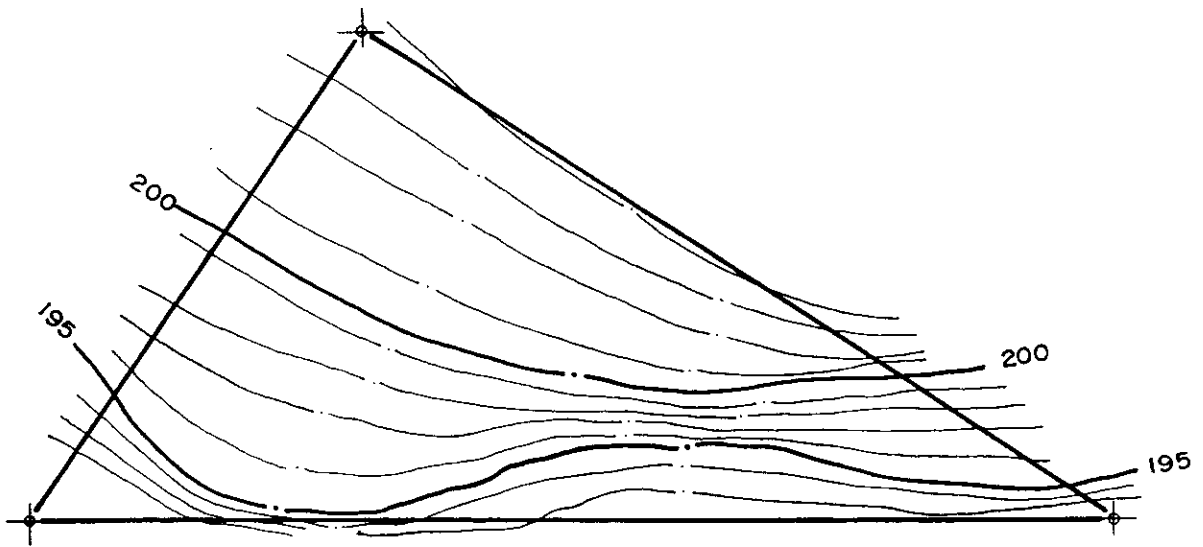
Curvas de Nivel del
Terreno



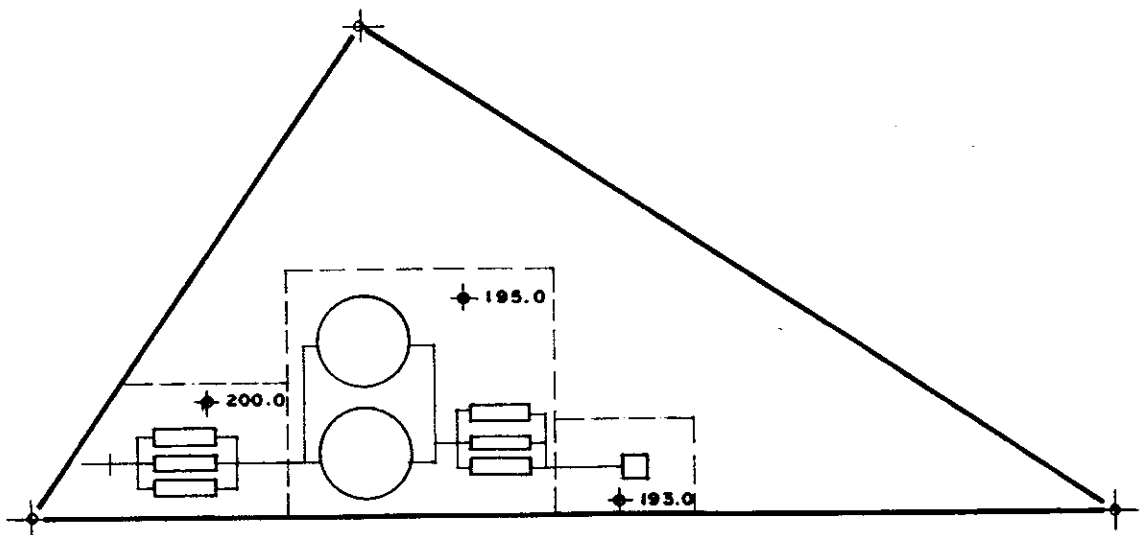
Distribución del Proceso de
Tratamiento

Plano No. 12
Planta de Tratamiento No. 5

100



Curvas de Nivel del
Terreno



Distribución del Proceso de
Tratamiento

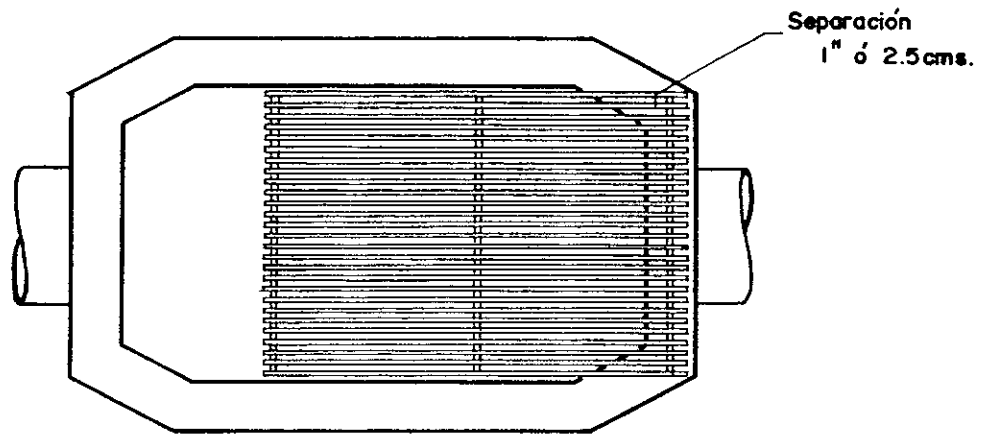
APENDICE B

- Plano # 1:** Diagrama típico de las mallas
- Plano # 2:** Diagrama típico de los tanques de sedimentación
- Plano # 3:** Diagrama típico de los filtros percoladores
- Plano # 4:** Plano de planta y elevación, planta de tratamiento # 1
- Plano # 5:** Plano de planta y elevación, planta de tratamiento # 2
- Plano # 6:** Plano de planta y elevación, planta de tratamiento # 3
- Plano # 7:** Plano de planta y elevación, planta de tratamiento # 4
- Plano # 8:** Plano de planta y elevación, planta de tratamiento # 5

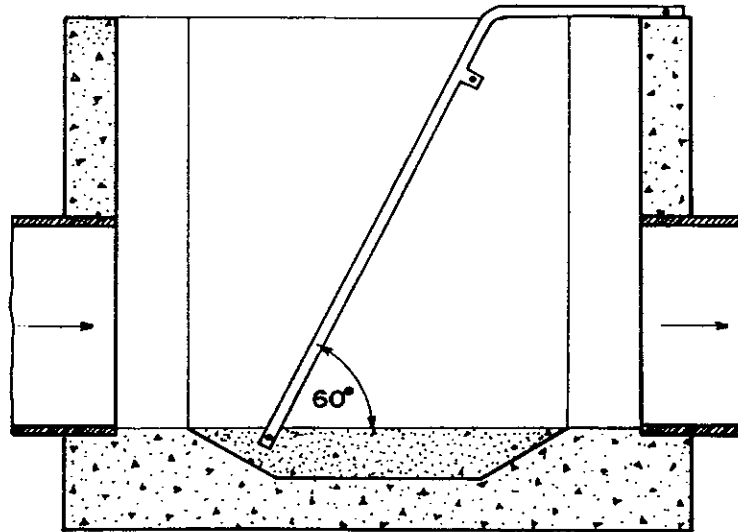
Plano No. 1

102

Diseño Típico De Las Mallas



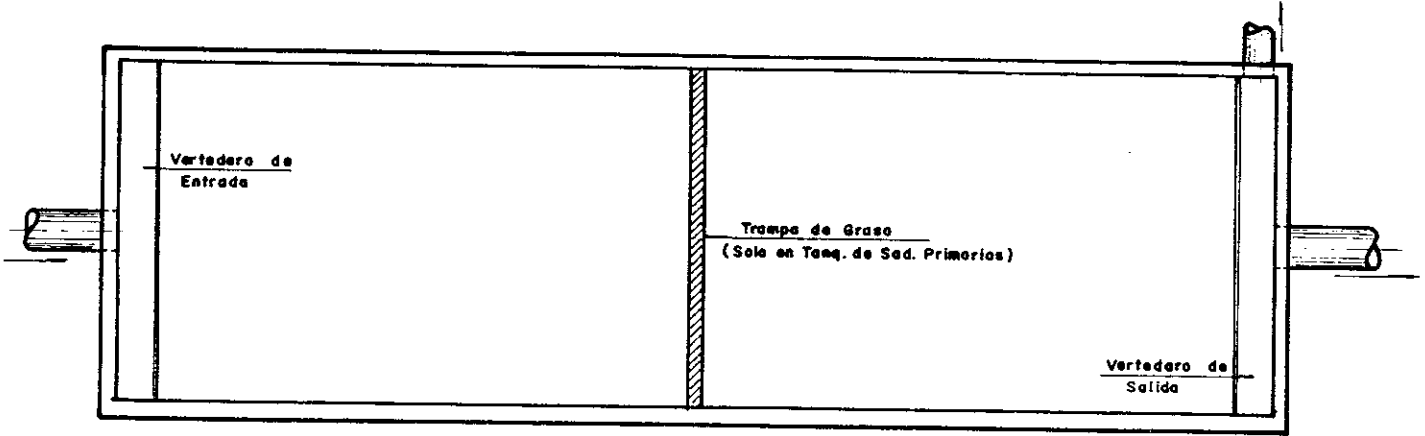
PLANTA



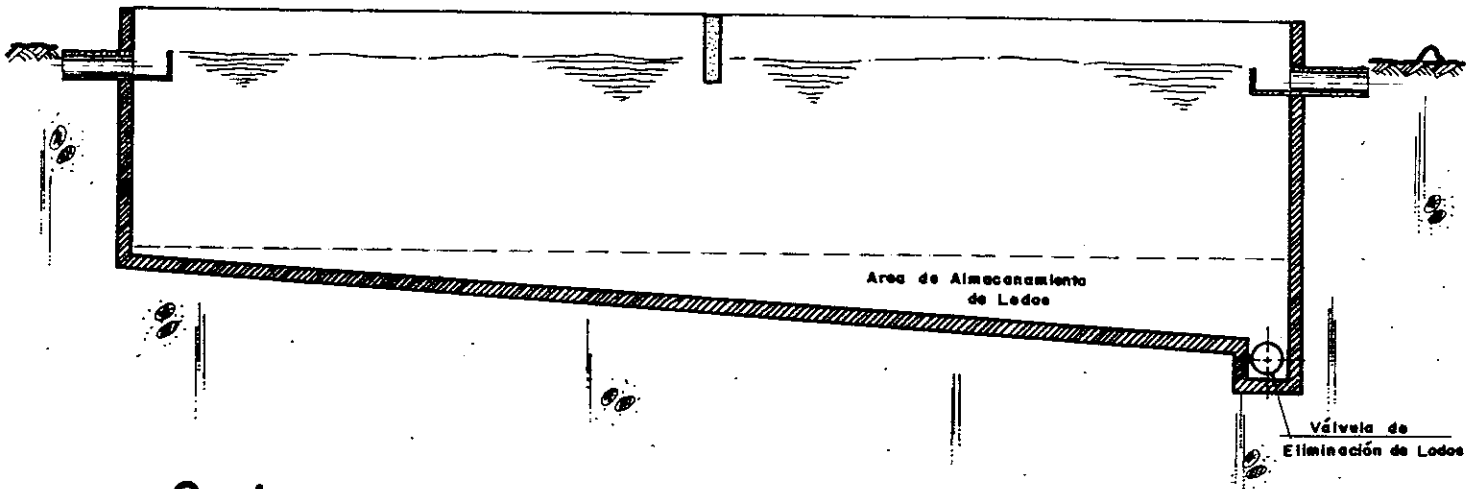
CORTE

Plano No. 2
Diagrama Tipico de Tanques
de Sedimentacion

103



Planta

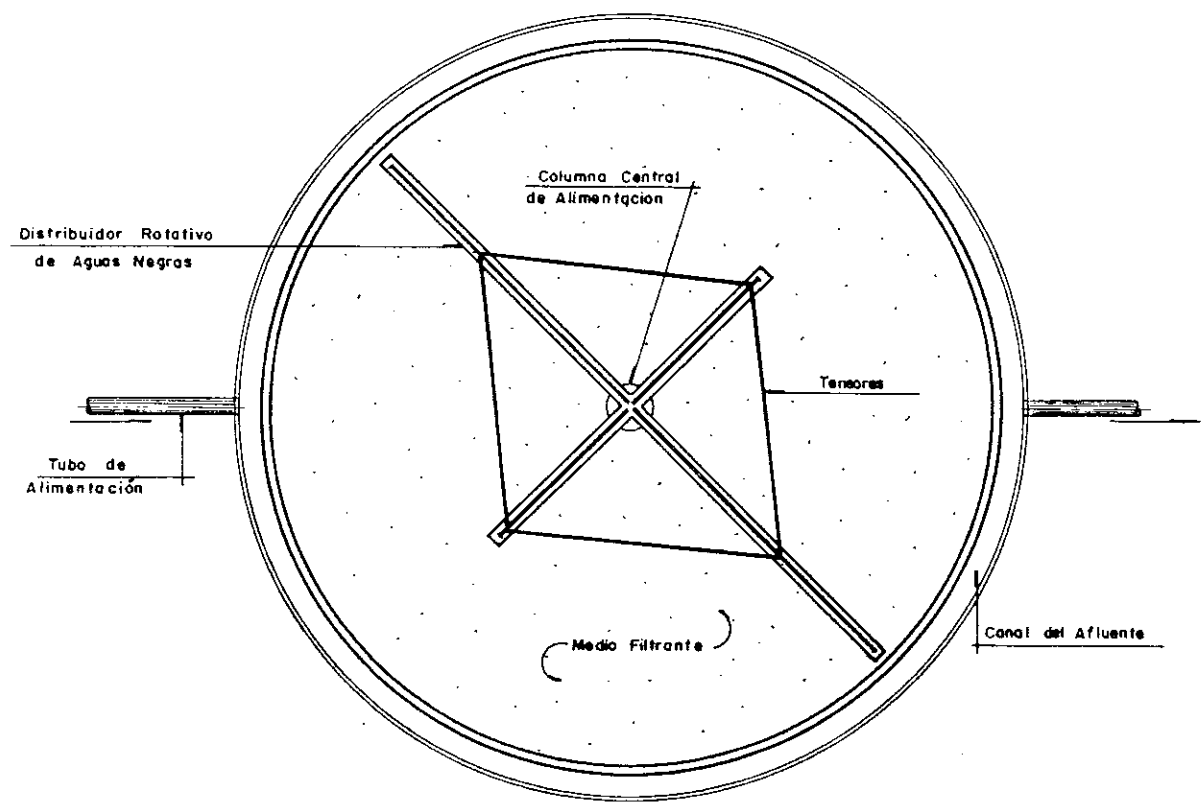


Corte

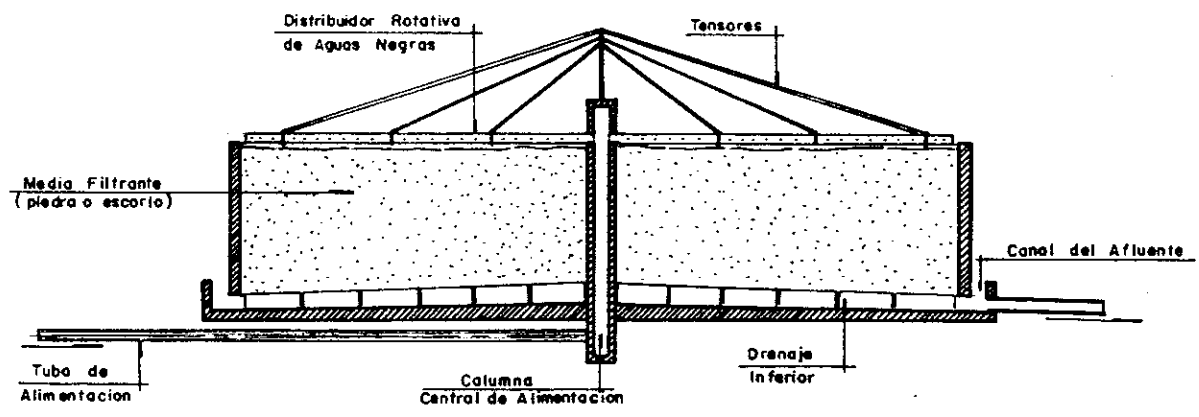
Plano No. 3

Diagrama Tipico de

Filtro Percolador



Planta

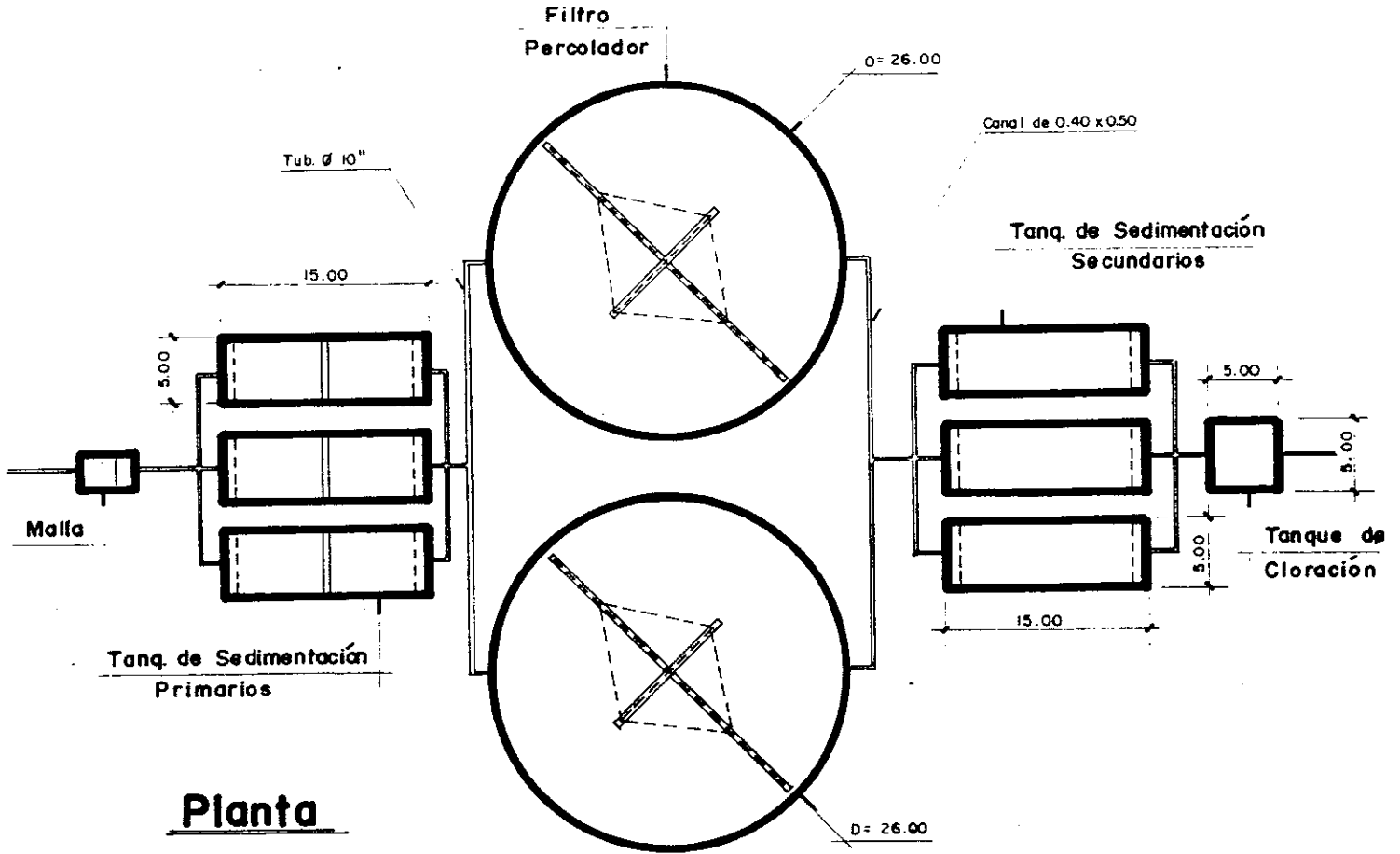


Corte

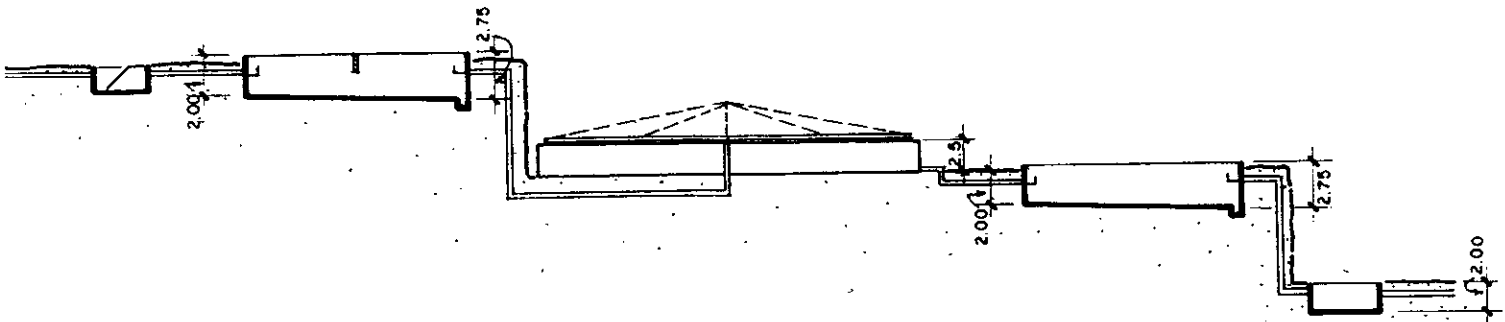
Plano No. 4

Diagrama General Planta de Tratamiento No. 1

105



Planta



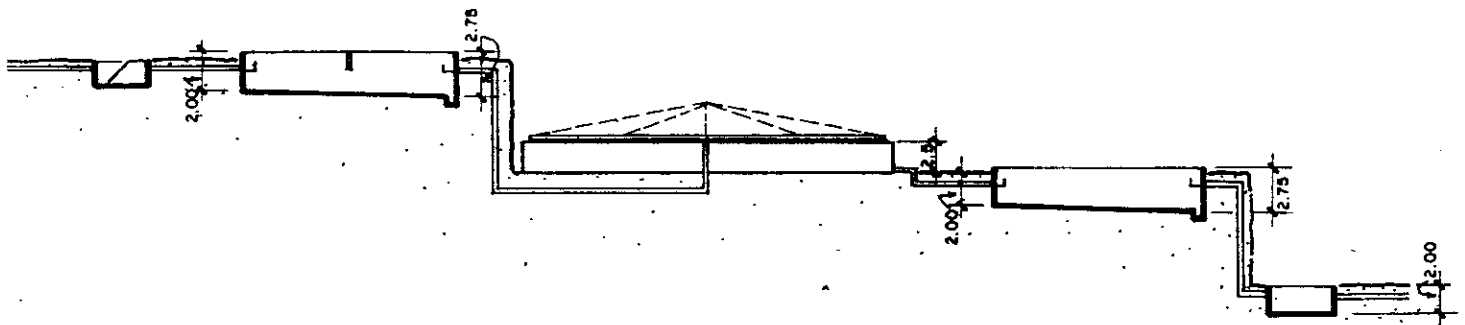
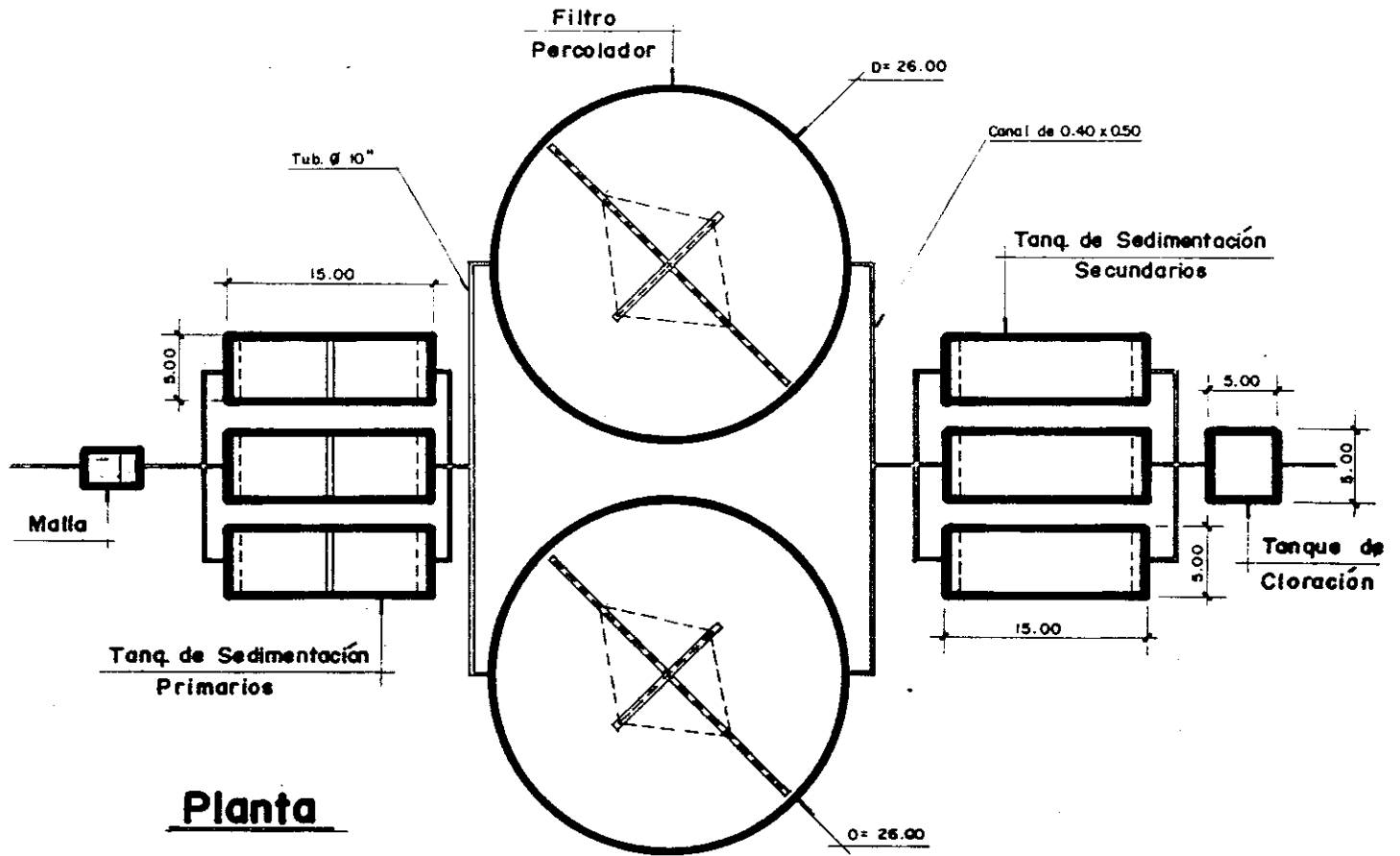
Corte

Plano No. 4

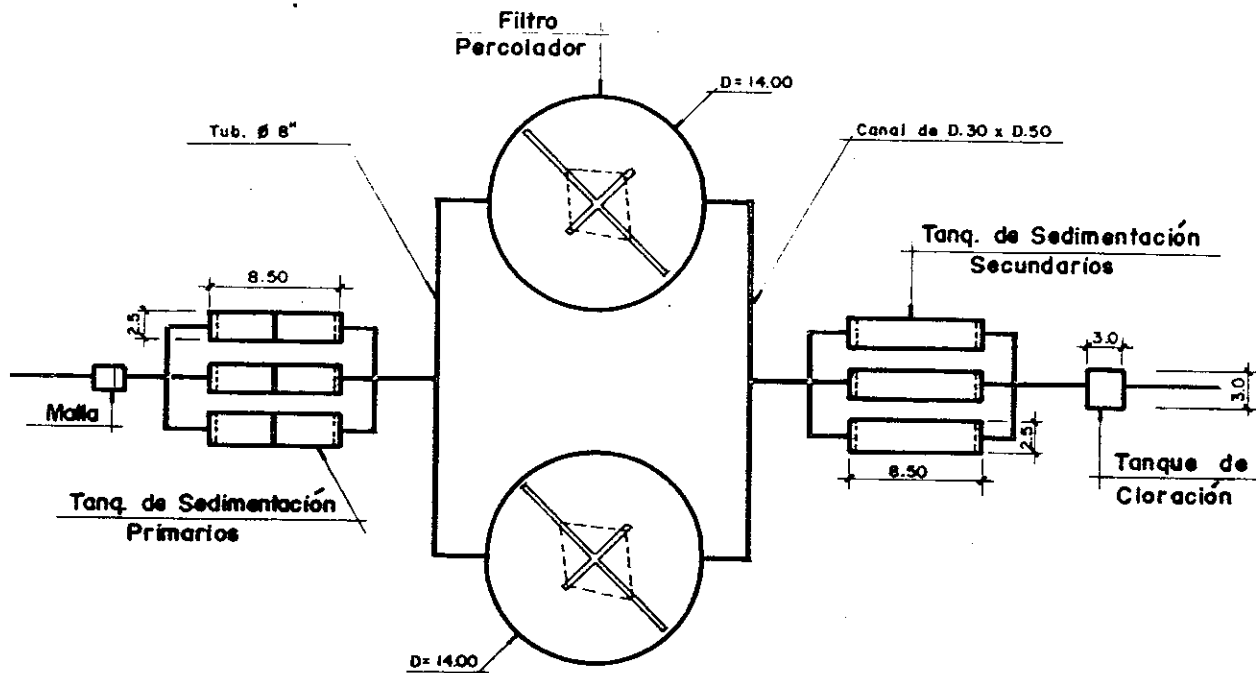
Diagrama General

Planta de Tratamiento No. 1

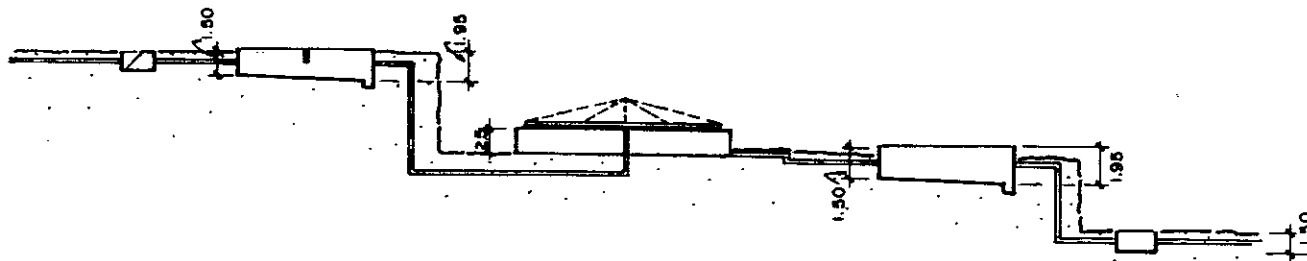
105



Plano No.5
Diagrama General
Planta de Tratamiento No. 2



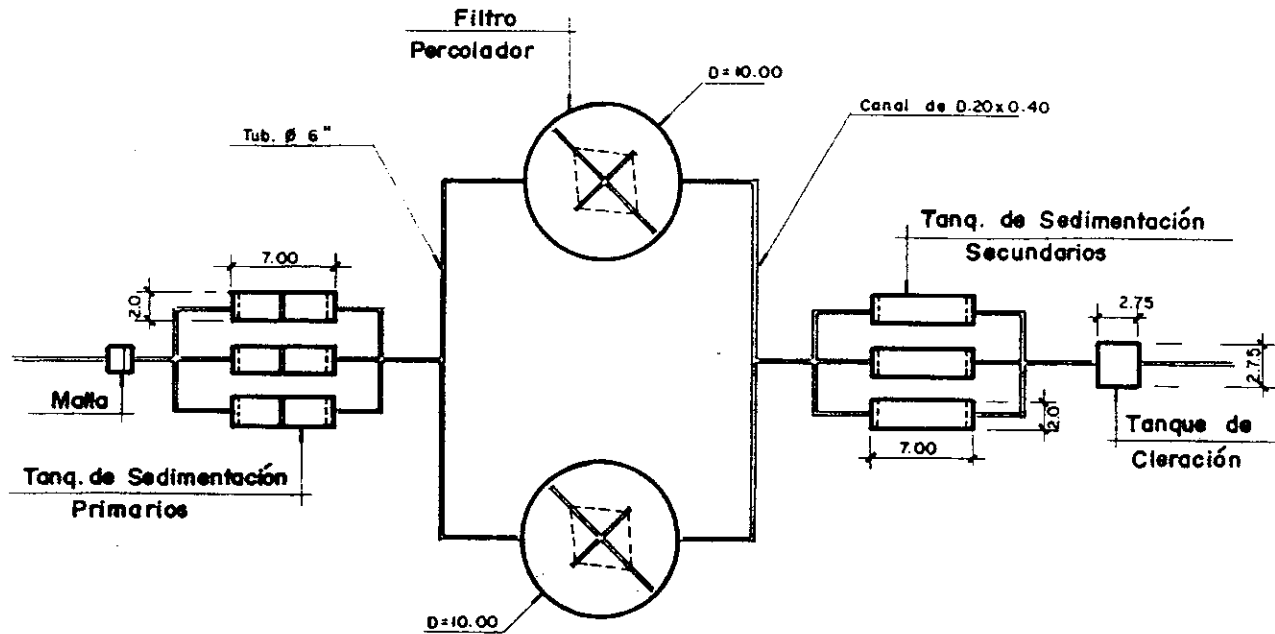
Planta



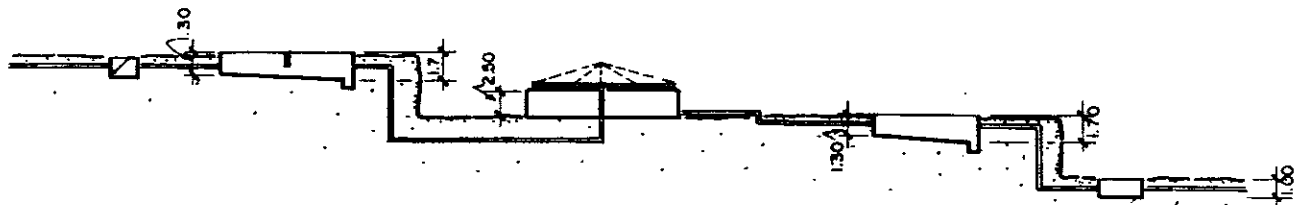
Corte

Plano No. 6
Diagrama General
Planta de Tratamiento No. 3

107



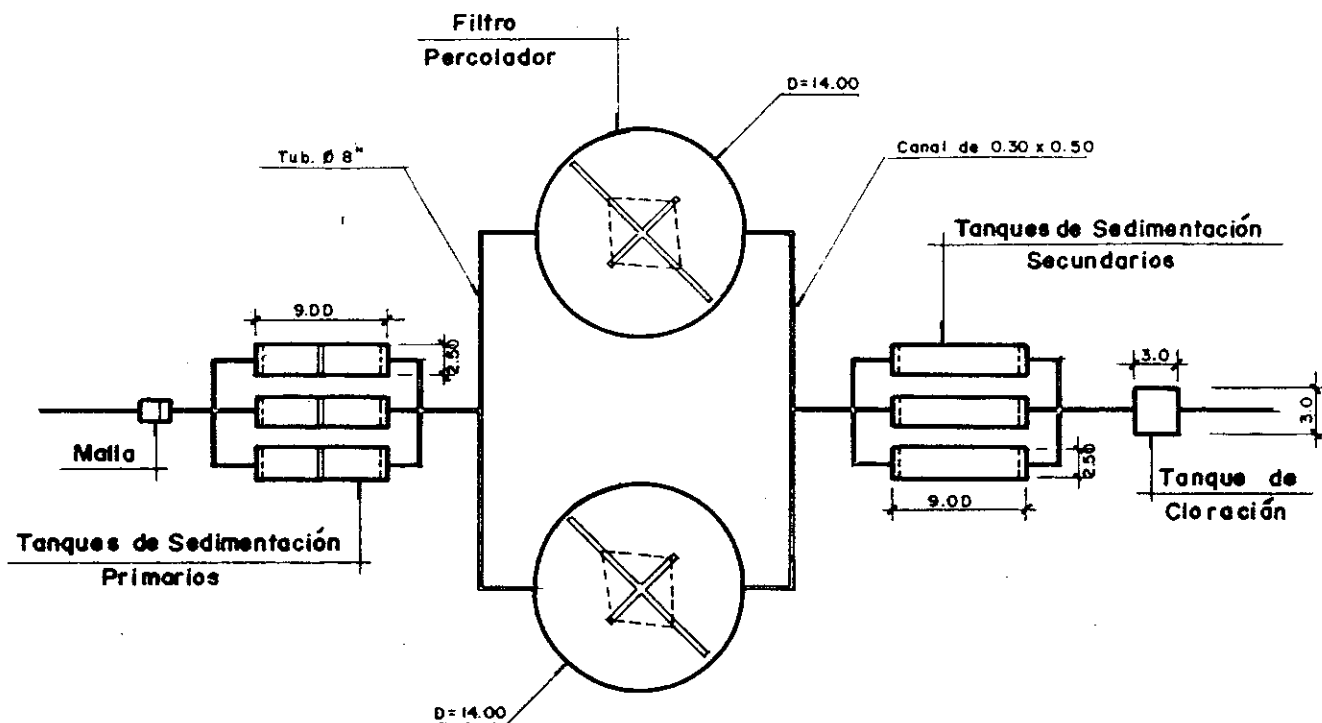
Planta



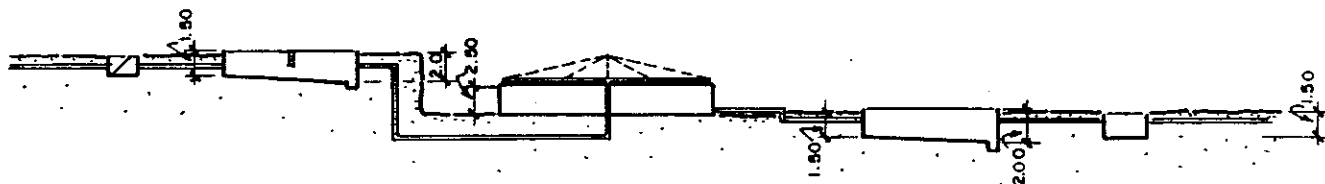
Corte

Plano No. 7
Diagrama General
Planta de Tratamiento No. 4

108



Planta



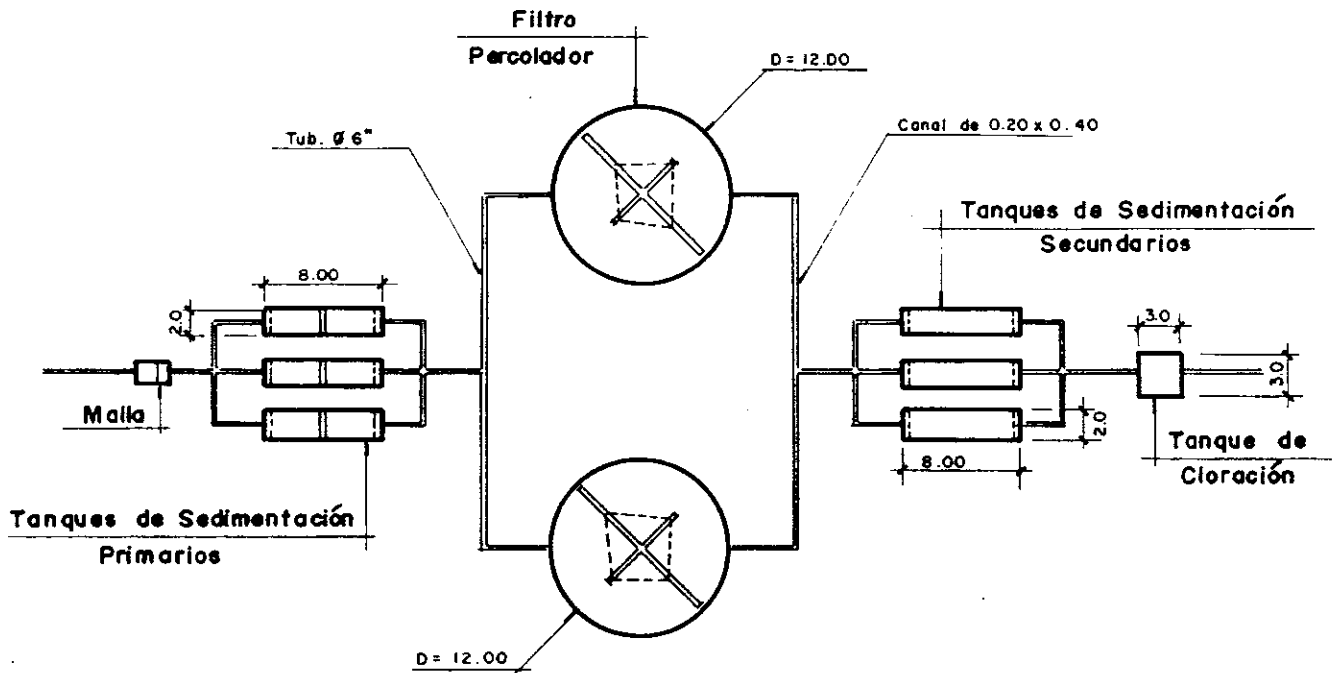
Corte

Plano No.8

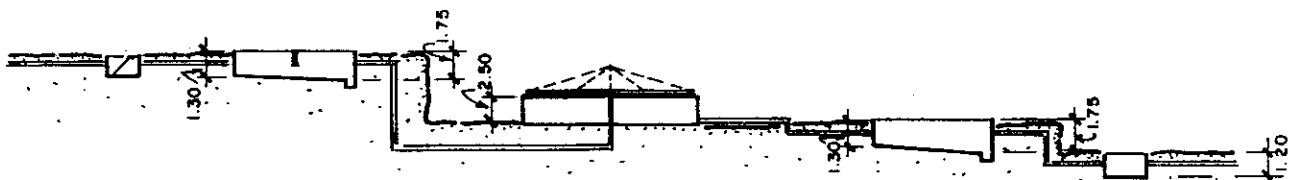
Diagrama General

109

Planta de Tratamiento No.5



Planta

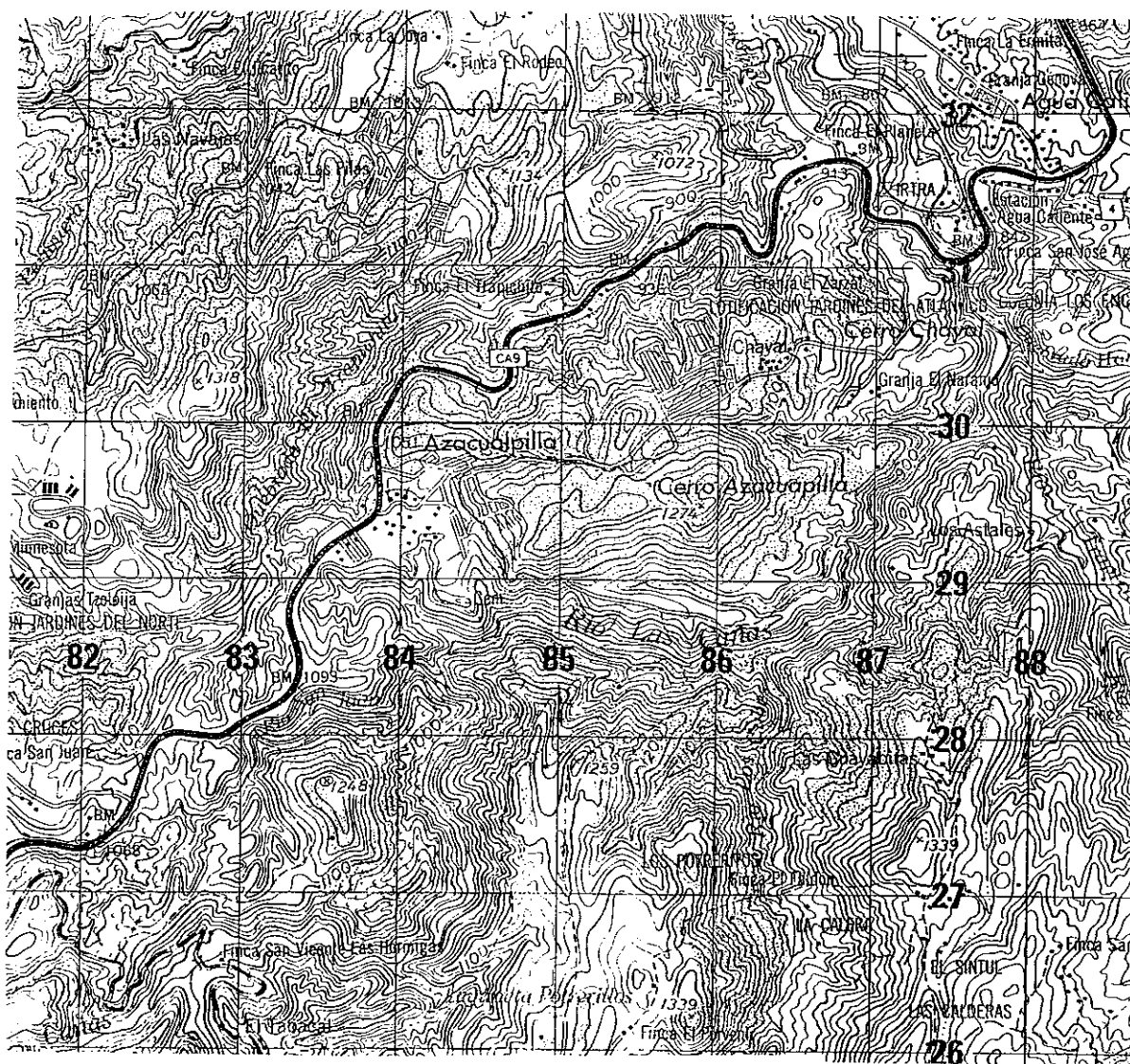


Corte

Apéndice C

Grafica No. 1

Sección Mapa Geográfico San Pedro Ayampuc, donde
Se encuentra localizada el área en que se desarrollará
El proyecto “Llanos de Azacualpilla”



Gráfica No. 2

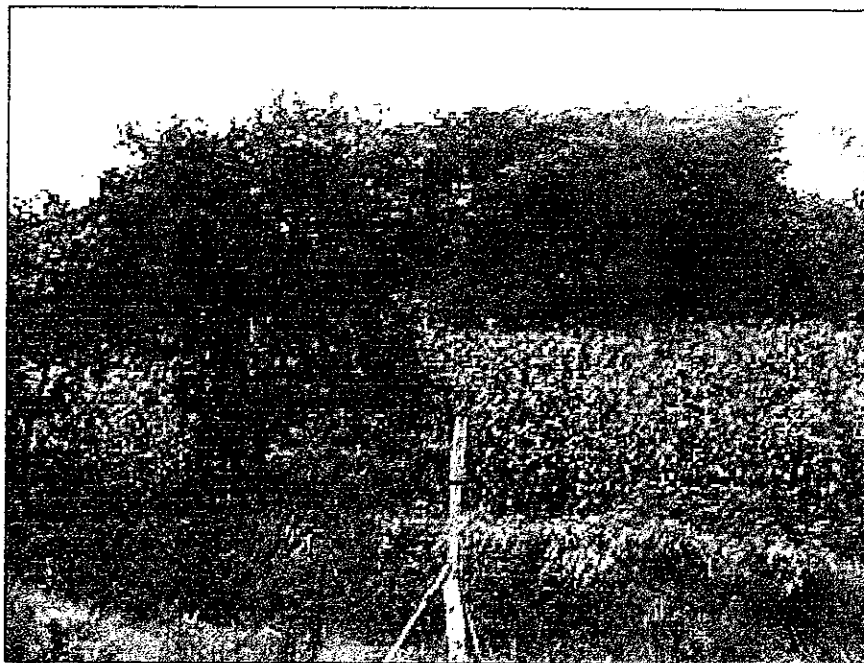
En esta foto se puede ver la topografía del terreno y el uso actual del mismo (pasto, milpa, y bosque)

III



Gráfica No. 3

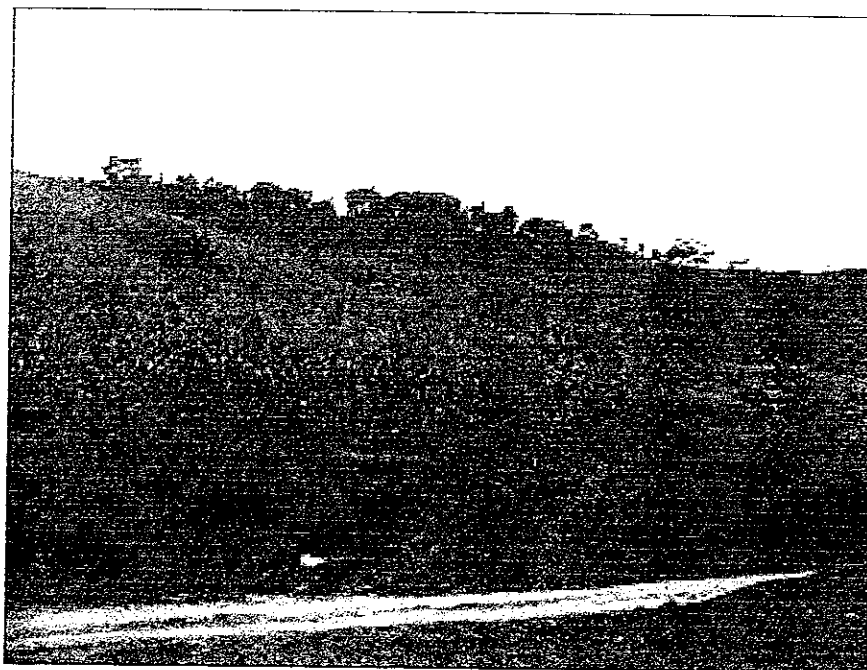
En esta foto se puede observar el uso actual del suelo, algunas siembras de milpa y bosque



Gráfica No. 4

En esta foto se puede ver una de las cuencas y el uso actual del suelo (milpa)

112



Gráfica No. 5

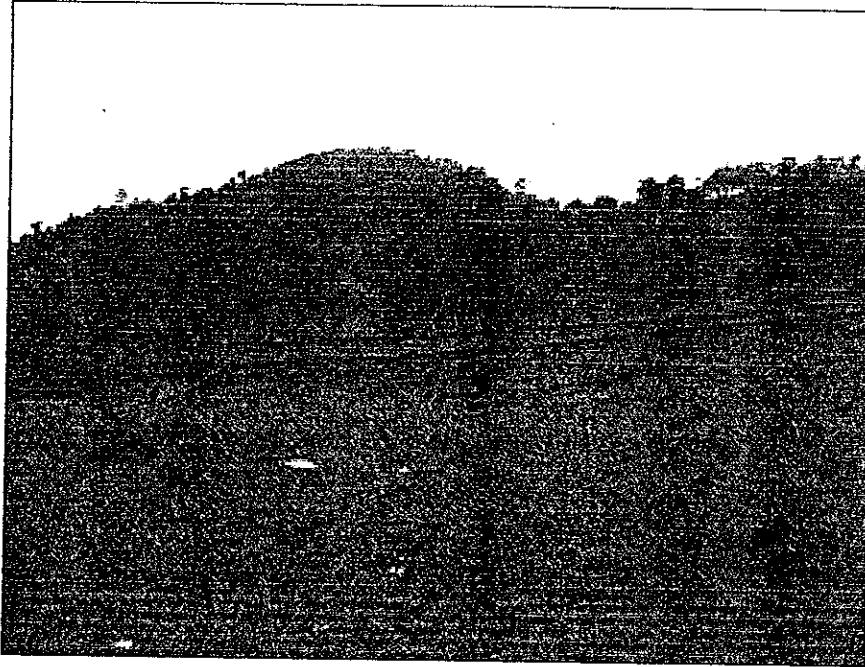
En esta foto se puede ver la brecha de la primera calle, y la topografía del terreno



Gráfica No. 6

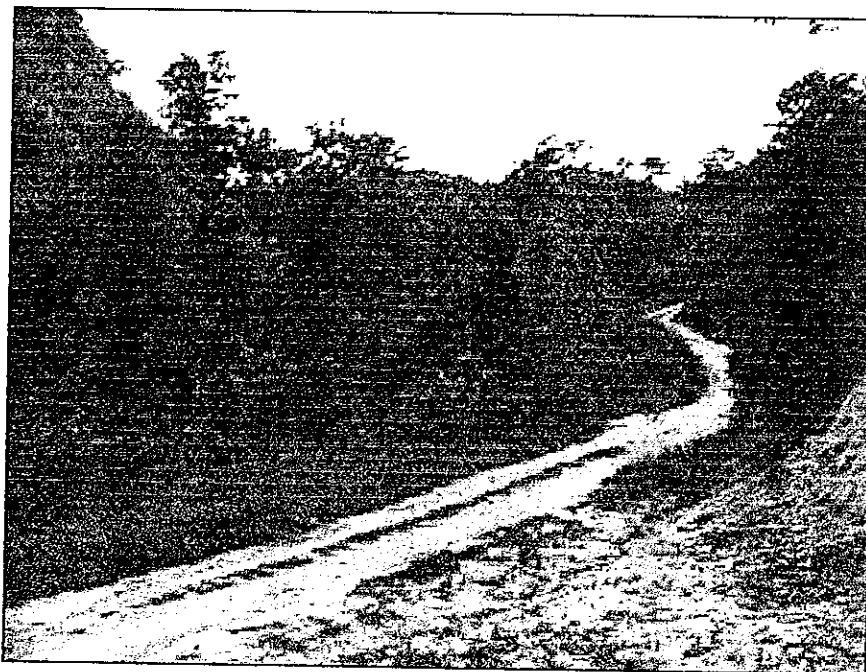
En esta foto se puede ver una de las cuencas, y la topografía del terreno

113



Gráfica No. 7

En esta foto se puede ver el camino de acceso actual y uno de los zanjones por donde corre el agua de lluvia



Gráfica No. 8

En esta foto se puede ver uno de los zanjones naturales por donde corre el agua de lluvia

