

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

Instituto de Diseño



“ Diseño espacial y estructural de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Tecnológica de la Mixteca ”

Tesis

Para obtener el título de
Ingeniero en Diseño

Presenta

Itzcóatl Bolaños Gómez

Director de Tesis
M.C. Vania Shuhua Robles Gonzales

Asesor
Ing. Oscar Díaz de León Sánchez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por fortalecer mi espíritu y permitir que concluya una etapa más de mi vida.

A mis padres por sus palabras, sus consejos, su amor, pero sobre todo por darme la vida y por dejarme la mejor herencia, "mi profesión".

A mis hermanos por confiar en mí y por que la vida a su lado es muy hermosa.

A Araelvi Moya Solano por su apoyo, cariño y amor.

Al M.C. Vania Shuhua Robles Gonzales por sustentar y guiar este proyecto de tesis.

Al Ing. Oscar Díaz de León Sánchez por brindarme su apoyo y compartirme sus conocimientos.

A mis amigos de la universidad por su amistad y confianza, son excelentes personas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
---------------------	----------

CAPITULO I

ASPECTOS PRELIMINARES

1.1	Antecedentes Históricos	13
1.2	Planteamiento del Problema	15
1.3	Justificación	17
1.4	Objetivos	19
1.5	Metodología General	19

CAPITULO II

EL AGUA RESIDUAL Y LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO

2.1	El agua residual	23
2.2	Sistemas de tratamiento	23
2.3	Composición de las aguas negras	24
2.4	Tratamiento de las aguas negras	24
2.5	Tratamiento preliminar	25
2.6	Tratamiento primario	27
2.7	Tratamiento secundario	29
2.8	Sistema de tratamiento por lodos activados (STLA)	29
2.9	Tratamiento terciario	31
2.10	Tratamiento de lodos	33
2.11	Diagrama de Flujo	33

CAPITULO III

ANÁLISIS DEL SITIO

3.1	Identificación del sitio	37
3.2	Diagnóstico del Medio Físico Natural	43
3.3	Investigación del Terreno	47
3.4	Levantamiento topográfico	51
3.5	Planos topográficos	53

CAPITULO IV

PROCESO DE DISEÑO

4.1	Requerimientos de diseño	59
	4.1.1 Requerimientos Funcionales	59
	4.1.2 Requerimientos Ambientales	60

4.1.3	Requerimientos Técnicos	60
4.1.4	Requerimientos Estéticos	61
4.2	Metodología del diseño de espacios	63
4.2.1	Diagrama de flujo	63
4.2.2	Necesidades	64
4.2.3	Programa espacial	65
4.2.4	Estudio de áreas	65
4.2.5	Zonificación	66
4.2.6	Diagrama de Funcionamiento General de la PTAR	67
4.3	Diseño Espacial	69
4.4	Diseño estructural	71
4.4.1	Componentes del concreto	71
4.4.2	Concreto	75
4.4.3	Revenimiento	75
4.4.4	Fraguado y endurecimiento	77
4.4.5	Curado del concreto	77
4.4.6	Impermeabilidad del concreto	78
4.4.7	Concreto reforzado	78
4.4.8	Concepción estructural	79
4.4.9	Dimensionamiento estructural	81
4.5	Planos constructivos	97
	Arquitectónicos	
	Estructurales	
	Instalaciones	
	Herrería	
	Acabados	
	CONCLUSIONES GENERALES	137
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	141
	ANEXOS	145
	BIBLIOGRAFÍA	149
	COMENTARIOS DEL AUTOR	151
	PROCESO CONSTRUCTIVO	155



INTRODUCCIÓN

Muchos productos de desecho de las sociedades modernas constituyen un valioso recurso que el hombre puede recuperar, reciclar o reutilizar en su propio beneficio, evitando de esta forma la consiguiente degradación ambiental y consumo excesivo de recursos naturales.

En México, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales se ha incrementado a partir de los últimos cinco años, debido a la escasez, los altos costos del agua y las regulaciones ambientales vigentes. El principal beneficio que proporcionan las plantas de tratamiento es la recuperación del agua residual para su reutilización en procesos que no requieren la calidad de agua destinada para consumo humano (p.ej. riego de jardines).

En general, el promedio de costos de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, de tipo biológica o fisicoquímica, está en un rango aproximado de 0.70 a 4.50 pesos por m³ de agua residual tratada, con un promedio general de 2.50 pesos por m³, en dependencia del grado de sofisticación del proceso de tratamiento, así como del flujo y de las características del agua a tratar.

El presente trabajo de tesis responde a la necesidad práctica de complementar un proyecto de investigación sobre tratamiento de aguas negras, para reutilizar el agua que se consume en la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM). El objetivo general es desarrollar el Diseño Espacial y Estructural de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), utilizando una metodología de diseño y un análisis estructural.

Los espacios diseñados en este trabajo presentan una síntesis visual libre de complicaciones o elaboraciones secundarias. La función específica de cada espacio dieron la pauta a un diseño formal que considera la antropometría para actividades de mantenimiento y monitoreo.

La información correspondiente a este proyecto se ha clasificado en cuatro capítulos. En el primero se exponen los aspectos preliminares, en el segundo información concerniente al tratamiento de aguas residuales y al sistema de tratamiento seleccionado para este proyecto.

Analizar el medio es imprescindible para que las formas que se generan como solución funcionen dentro del medio físico natural y puedan considerarse válidas. Por ello, en el capítulo tercero se presenta un análisis del sitio destinado a la PTAR y un levantamiento topográfico.

En capítulo cuarto, se desarrolla el proceso de diseño, el cálculo estructural y los planos constructivos de la PTAR. Por último, se presentan las conclusiones y el comentario del autor.

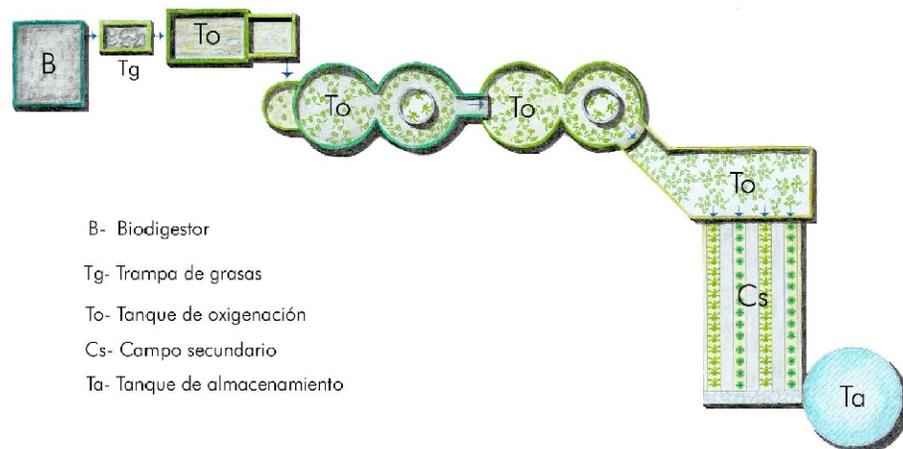
CAPITULO I
ASPECTOS PRELIMINARES



1.1 Antecedentes históricos

En el año de 1994-95, profesores investigadores del Instituto de Hidrología y Diseño de la UTM, desarrollaron para esta Universidad un proyecto de tratamiento de aguas grises, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental causada por estos efluentes. El proyecto estaba basado en el sistema Xochicalli, tratamiento biológico que aprovecha la fuerza de gravedad y los procesos biológicos de distintas bacterias anaerobias para reducir la contaminación existente en las aguas residuales.

El sistema estaba formado por: 2 trampas de grasas, 2 biodigestores anaerobios, 6 módulos de oxigenación en forma de cascada (donde se cultivaba lirio acuático y cartuchos), un campo secundario de grava y arena (donde se cultivaban juncos y pasto vetiver). Por último, se tenía un tanque de almacenamiento de agua tratada, la cual se destinada al riego de jardines. (Fig. 1)



▲ Fig. 1 Boceto, planta de tratamiento de aguas grises, UTM 1995.

La planta funcionó adecuadamente un año, sin embargo, debido al incremento de las descargas de agua usada y a los requerimientos de un constante mantenimiento se canceló definitivamente. Mientras tanto, se colocaron fosas sépticas y pozos de absorción en puntos estratégicos de la Universidad para mantener un control del agua residual.

En el 2004, la UTM envía una propuesta de una Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI), que convoca la Secretaría de Educación Pública Federal, la cual aprobó la propuesta destinando el recurso económico para su construcción.



◀ Fig. 2 Planta de tratamiento de aguas grises, UTM 1995.



◀ Fig. 3 Campo secundario de la planta de tratamiento de aguas grises, UTM 1995.

En el año 2005, profesores Investigadores del Instituto de Agroindustrias e Hidrología elaboraron el proyecto definitivo de la PTAR, mismo que fue presentado a la instancias de gobierno antes mencionada para liberar el recurso autorizado.

Cabe señalar, que el proyecto anterior fue enviado a la Universidad del Mar para su revisión técnica, obteniendo resultados satisfactorios.

1.2 Planteamiento del problema

La UTM se encuentra ubicada en los límites de la zona urbana, en terrenos de lomeríos y suelos de tipo roca, a 185 metros de altura sobre la Cd. de Huajuapán de León. Esta situación dificultó el tendido de redes de infraestructura, por lo que desde su creación la UTM no tiene conexión a la red de drenaje municipal.

Como medida provisional, se instalaron fosas sépticas de 8 a 15 m³, así también pozos de absorción para recibir las aguas residuales de los edificios de aulas, áreas administrativas, institutos, departamentos y casas para profesores. Sin embargo, las descargas de aguas residuales se han incrementado considerablemente, ocasionado que la mayoría de las fosas estén al límite de su capacidad.

Fig. 4 Fosa séptica



Fig. 5 Extracción de agua de las fosas sépticas.

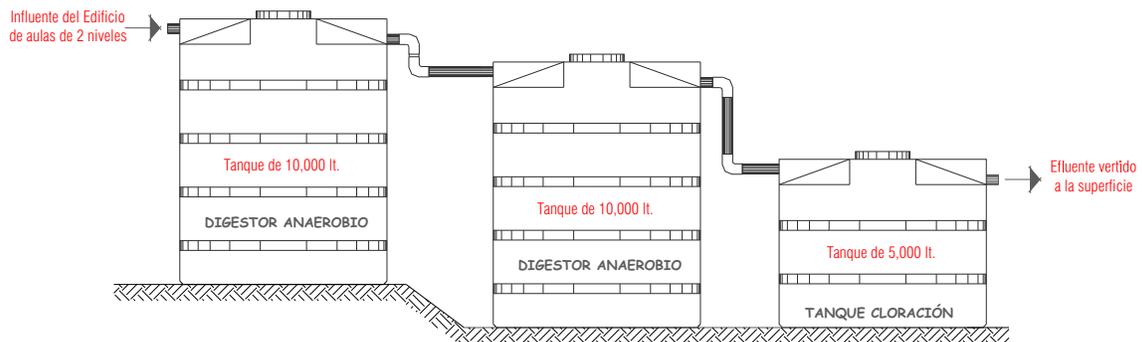


Esta situación trae consigo problemas como la generación de olores, el constante mantenimiento de fosas sépticas, contaminación del suelo y de cuerpos superficiales de agua.



◀ Fig. 6 Descarga superficial de agua de las fosas sépticas.

En la UTM, únicamente el módulo de baños del edificio de aulas de dos niveles (Fig.18) cuenta con un sistema de tratamiento. Este sistema consta de dos tanques de 10, 000 L que funcionan como digestores anaerobios y un tanque de cloración de 5,000 L (Ver fig.7). Con este sistema se reduce la demanda química de oxígeno (DQO) y se puede descargar el efluente al suelo o cuerpos superficiales de agua.



▲ Fig. 7 Sistema de tratamiento de aguas negras para el edificio de aulas de dos niveles.

1.3 Justificación

En nuestro país existen muchos lugares que tienen agua potable pero no tienen red de drenaje, lo que provoca gran contaminación ambiental. Algunas de estas áreas sin drenaje sanitario, recurren al empleo de fosas sépticas como método para la depuración parcial de aguas residuales domésticas, pero su número es tan abundante que los efluentes infiltrados en el subsuelo llegan a aflorar, estancándose en las zonas bajas densamente pobladas mezclándose con las aguas subterráneas, que constituyen fuentes de abastecimiento de agua potable. (Centro de Información y Actualización de Conocimientos A.C., S.A.)

Existen zonas donde las aguas residuales son vertidas directamente a arroyos, ríos, mares y corrientes naturales. En estos casos el daño es aun mayor, debido a que no se realiza tratamiento alguno para separar el material orgánico e inorgánico que constituye el principal elemento de contaminación. (Centro de Información y Actualización de Conocimientos A.C., S.A.)

Un aspecto importante por el cual es necesario tratar las aguas residuales es el suministro de agua potable a las zonas urbanas y suburbanas de la región. En los últimos años el agua como recurso natural ha disminuido considerablemente, debido a la explotación excesiva y al uso irracional de dicho recurso. Debido a la escasez de este líquido la Agencia de San Andrés Acatlima ha disminuido el suministro de agua potable para la UTM, por lo que en épocas de estiaje ha sido necesario comprar pipas de agua de 10,000 litros al Municipio de Huajuapán de León.

La disponibilidad de aguas subterráneas en la región mixteca se ha vuelto un problema muy grave. "De acuerdo a una caracterización hidrogeológica de los aluviones de la cuenca alta del río Mixteco, en Huajuapán de León, Oax., y tomando de referencia un área de 9000 km², se tiene una precipitación de 275 millones de m³, un escurrimiento superficial de 41 millones de m³, evapotranspiración de 223 millones de m³, un escurrimiento hacia la presa de Yosocuta de 34 millones de m³ y una infiltración de solo 11 millones de m³, de la cual solo un 50 % podemos disponer debido a la contaminación de las fuentes naturales" (Morales, L. R., Guerrero, H. J., Cisneros, C. C. 2001). Por lo tanto, la disponibilidad de agua en la Cd. de Huajuapán de León y sus alrededores ha disminuido considerablemente.

El presente proyecto pretende dar respuesta a la necesidad de tratar las aguas residuales generadas en la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), con la finalidad de reutilizarlas en el riego de jardines y disminuir la contaminación ambiental en la zona. Asimismo, se espera que el proyecto sirva de apoyo y ejemplo a todas aquellas entidades con las mismas necesidades.

1.4 Objetivos

Objetivo principal

“Desarrollar el diseño Espacial y estructural de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Tecnológica de la Mixteca”

Objetivos específicos

- A) Realizar el levantamiento topográfico del área destinada para la PTAR.
- B) Aprovechar las pendientes naturales del terreno para determinar la ubicación de los espacios de la PTAR.
- C) Realizar los planos constructivos para la ejecución de PTAR.

1.5 Metodología

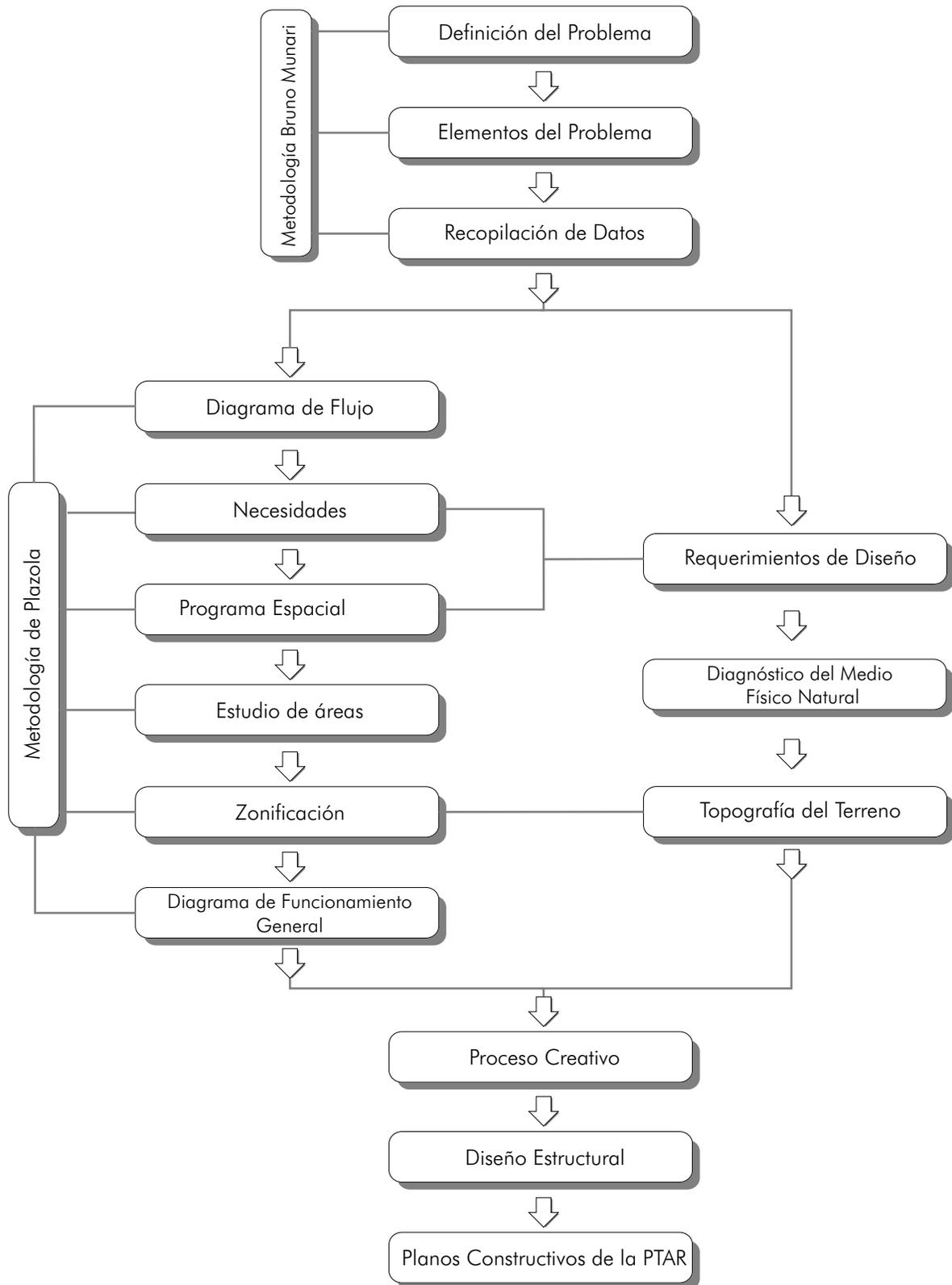
Todas las metodologías empleadas en el proceso de diseño son útiles para simplificar y ordenar el trabajo. Ninguna es general y estrictamente aplicable paso a paso. Cada diseñador tiene o adquiere una metodología propia que incluso puede variar en varios problemas del mismo tipo. (Plazola,1992)

Para cubrir los objetivos específicos antes planteados se determinó que era necesario retomar diferentes metodologías que sirvan de orientación en cada una de las etapas de Diseño, contribuyendo así al logro del objetivo principal de este proyecto de tesis.

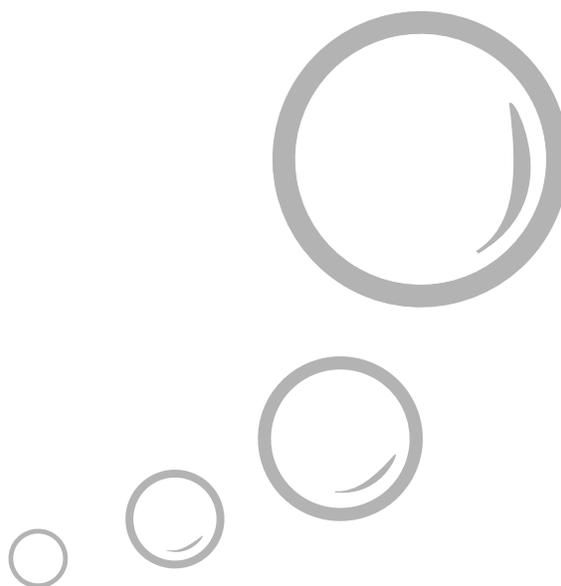
La siguiente metodología general fue elaborada a partir de dos metodologías, la primera que es la de Bruno Munari, diseñador industrial / gráfico que plantea un método proyectual sistemático para la resolución de problemas, y la segunda de Alfredo Plazola Cisneros, que sirve para obtener funcionalidad en el diseño de espacios.

Los criterios para la elección de metodologías anteriores, fue obtener una guía práctica para el desarrollo del proyecto, el cual incluye aspectos industriales, diseño de espacios y de ingeniería.

▼ Fig. 8 Metodología General



CAPITULO II
**EL AGUA RESIDUAL Y LAS
ETAPAS DE TRATAMIENTO**



2.1 El agua residual

El agua residual se define como el agua usada por el ser humano, y que generalmente son vertidos a cuerpos de agua continental o marina. Según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, sobre las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se definen a las aguas residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, en general de cualquier otro uso.

Las aguas residuales ó efluentes se clasifican en dos tipos para su tratamiento: urbanas e industriales. Las aguas residuales urbanas ó domésticas se refieren a aquellas que provienen de residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares, que contienen principalmente desechos orgánicos. Las aguas residuales industriales son aquellas en las que predominan los residuos industriales y que requieren un tratamiento especial dependiendo del tipo de residuos que se trate. Independientemente de que se reutilice o no el agua residual, se realiza un tratamiento con el propósito de remover los contaminantes que pueden perjudicar a todos los seres vivos.

2.2 Sistemas de tratamiento

Entre los sistemas de tratamiento de las aguas residuales se encuentran los que emplean procesos fisicoquímicos y los que se sustentan en procesos biológicos. Los fisicoquímicos son aquellos donde la transformación es llevada a cabo por medio o a través de reacciones químicas. Por ejemplo, la precipitación química de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión y facilitar su eliminación por sedimentación.

Los procesos biológicos son aquellos que buscan la coagulación y la eliminación de los sólidos no sedimentables así como la estabilización de la materia orgánica, se dividen en procesos aerobios y anaerobios dependiendo del suministro de oxígeno en cada etapa que componen al sistema de tratamiento. Sin embargo, la amplia variedad de alternativas disponibles, hace posible obtener virtualmente cualquier calidad de agua tratada a partir de cualquier fuente, excepto las más contaminadas; por consiguiente, las consideraciones económicas y operacionales se convierten en los factores restrictivos al seleccionar las unidades de tratamiento.

2.3 Composición de las aguas negras

Las aguas negras consisten principalmente de agua, sólidos disueltos y sólidos suspendidos. La cantidad de sólidos es casi siempre menos del 0.1% en peso, pero es la fracción que representa mayor problema para su tratamiento y disposición. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para transporte de los sólidos, que pueden estar disueltos, suspendidos o flotando.

Las aguas negras en su estado inicial no producen olores desagradables debido a que existe oxígeno disuelto en el agua que permite la descomposición aeróbica. Una vez que el oxígeno disuelto se agota, las aguas negras entran en descomposición anaeróbica, donde los sólidos producen ácido sulfhídrico y otros gases de olor fétido, así también existen sólidos en suspensión que da al agua un color negruzco.

La actividad biológica en las aguas negras produce muchos cambios en la composición química de los sólidos. Estos cambios bioquímicos no solo indican las actividades de los microorganismos, sino también el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficacia de cualquier proceso de tratamiento en particular.

El oxígeno disuelto es muy importante en los cambios bioquímicos, ya que cuando está presente en las aguas negras o cuando se agrega a ellas por dispositivos de tratamiento, permite el desarrollo de las actividades de los microorganismos aerobios y con ello el progreso de la descomposición, sin dar lugar a putrefacciones.

2.4 Tratamiento de las aguas negras

En el tratamiento de las aguas negras, los sólidos inorgánicos que el agua contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos queden convertidos en sólidos minerales o en compuestos orgánicos relativamente estables.

Se puede definir al tratamiento de aguas residuales como el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las etapas de purificación de una corriente, dentro de un área limitada, apartada y bajo condiciones controladas.

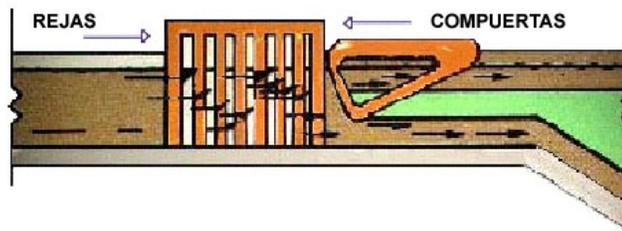
Las etapas que constituyen un sistema de tratamiento de aguas residuales se puede clasificar de manera general en tratamiento: preliminar, primario, secundario, terciario y de lodos.

2.5 Tratamiento preliminar

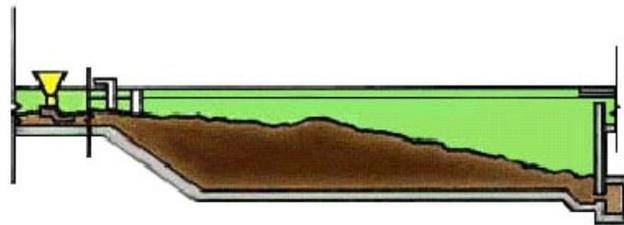
En la mayoría de las plantas, el tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo. Los dispositivos de esta etapa separan los sólidos mayores o flotantes, eliminan los sólidos inorgánicos pesados y las cantidades excesivas de aceites o grasas. Por lo tanto, el tratamiento preliminar facilita los procesos subsiguientes de tratamiento.

Para alcanzar los objetivos de esta etapa se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- 1) Rejas de barras finas.
- 2) Desmenuzadores (cortadoras o trituradoras)
- 3) Desarenadores
- 4) Tanques de preaeración



▲ Fig. 9 Sistema de rejas o barras



▲ Fig. 10 Desarenadores

El tratamiento preliminar empleado para este proyecto son las rejas o cribas, debido a que el agua residual generado en la UTM no contiene arena, sólidos de gran tamaño como botellas de plástico o de vidrio, sirviendo únicamente para eliminar pequeños sólidos que pudieran dañar los equipos instalados en la PTAR.

Las rejas o cribas están formadas por barras generalmente espaciadas desde 2 hasta 15 cm, usualmente tienen claros de 2.5 a

5 cm. Aunque algunas veces se usan rejas grandes en posición vertical, la regla general indica que deben colocarse a un ángulo de 45° a 60° con respecto a la vertical, la limpieza se realiza manualmente por medio de un rastrillo.

2.6 Tratamiento primario

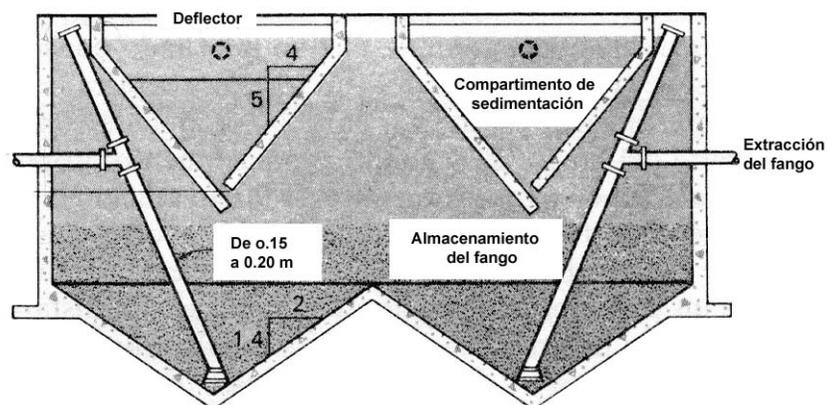
En este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas negras, aproximadamente de 40 a 60 %, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. La actividad biológica en las aguas negras durante esta etapa, es mínima.

Los dispositivos para el tratamiento primario, tienen como propósito fundamental disminuir la velocidad de las aguas negras para que los sólidos puedan sedimentarse. Por consiguiente, a estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de tanques sedimentadores o de sedimentación.

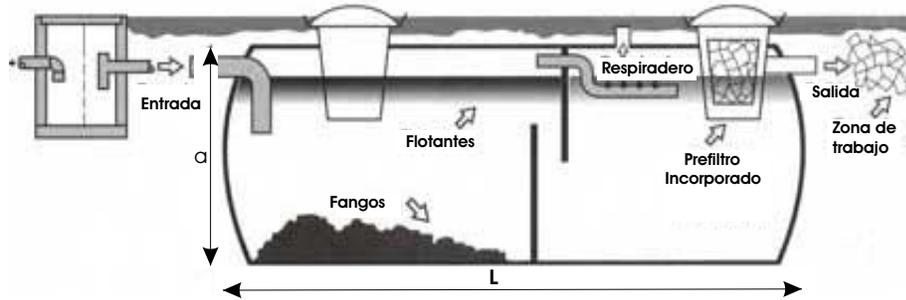
Los tanques de sedimentación tienen una diversidad de diseños y sistemas de operación, sin embargo pueden dividirse en cuatro:

- 1) Tanques de doble acción como los Imhoff
- 2) Tanques sépticos
- 3) Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos
- 4) Clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos

Existen casos en que se emplean productos químicos para el tratamiento primario, con el objetivo de facilitar el proceso de sedimentación.



▲ Fig. 11 Tanque Imhoff.



▲ Fig. 12 Tanque séptico

Para este proyecto, se decidió utilizar un tanque mezclador como tratamiento primario, con la finalidad de homogenizar el efluente y controlar el flujo de entrada al tratamiento secundario.

2.7 Tratamiento secundario

Este tratamiento debe hacerse cuando a pesar del tratamiento primario, las aguas negras tienen más sólidos orgánicos en suspensión o solución, que los pueden ser asimilados por las aguas receptoras. La descomposición de los sólidos orgánicos en el tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aerobios o anaerobios que los transformarán en sólidos orgánicos o inorgánicos estables.

Los dispositivos que se usan para el tratamiento secundario son:

- 1) Filtros percoladores con tanques de sedimentación secundaria
- 2) Tanques de aeración
 - a) Lodos activados con tanques de sedimentación simple y
 - b) Aeración por contacto
- 3) Filtros intermitentes de arena y/o grava
- 4) Estanques de estabilización

Para este proyecto, se decidió emplear un sistema de lodos activados bajo condiciones aerobias, ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover la materia orgánica presente en el agua residual.

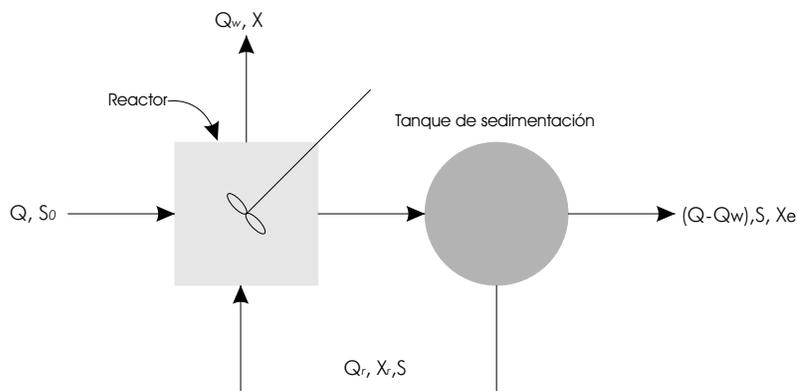
2.8 Sistema de tratamiento por lodos activados (STLA)

El sistema de lodos activados es también llamado sistema de fangos activados, fue seleccionado por los profesores investigadores del Instituto de Agroindustrias e Hidrología, debido a que estos sistemas presentan periodos cortos de estabilización, mayores eficiencias de remoción de contaminantes (medida DQO) y porque no requieren grandes extensiones de terreno para su construcción.

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett, llamado así porque suponía la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En la actualidad se utilizan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales. (Metcalf & Eddy, 1985)

Descripción del proceso

Desde el punto de vista de funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de fangos activados se lleva a cabo, normalmente, utilizando un diagrama de flujo tal como el mostrado en la figura 13. El residuo orgánico se introduce en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se denomina líquido mezcla. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos o neumáticos que a su vez, sirven para mantener el líquido mezcla bajo condiciones homogéneas. (Metcalf & Eddy, 1985)



▲ Fig. 13 Reactor de mezcla completa con recirculación celular

Tras un período determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas es recirculada para mantener la concentración deseada de organismos en el reactor, mientras que otra es purgada del sistema. (Metcalf & Eddy, 1985)

Para separar los microorganismos, se diseñó un tanque sedimentador el cual permitirá recircular una fracción de ellos al reactor aerobio o su disposición final a los tanques de secado, obteniéndose al terminar este tratamiento un agua tratada con una menor concentración de sólidos y microorganismos.

2.9 Tratamiento terciario

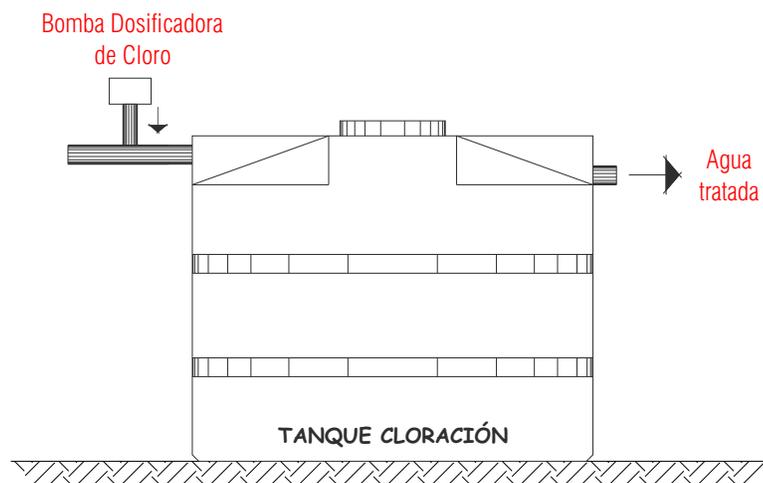
En cualquier tratamiento de aguas negras que se realiza después de la etapa secundaria se busca eliminar contaminantes orgánicos, nutrientes como iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales.

En el tratamiento terciario se pretende que el agua sea lo más pura posible y libre de bacterias patógenas, para ello se realizan las siguientes operaciones: la micro filtración, coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la remoción de nutrientes, la cloración y la ozonización.

El proceso mas utilizado para la eliminación de bacterias patógenas es la cloración ya que se puede aplicar a grandes cantidades de agua y es relativamente barato. El cloro tiene una acción tóxica sobre los microorganismos y actúa como un oxidante sobre la materia orgánica no degradada y sobre algunos minerales.

Aunque el cloro elemental o en forma atómica se puede usar para la desinfección del agua, son mas utilizados algunos de los compuestos de cloro como el ácido hipocloroso, el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio y el peróxido de cloro.

Otros desinfectantes como el ozono, el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) y luz ultravioleta empiezan a ser empleados en algunos lugares, pero son mas costosos que el empleo de cloro.



▲ Fig. 14 Proceso de cloración con bombas dosificadoras.

Para este proyecto, el proceso terciario se llevará a cabo mediante la adición de hipoclorito de sodio en solución (Fig.14), debido a su bajo costo, baja reactividad, los grandes volúmenes de agua a tratar y a la eliminación de olores.

2.10 Tratamiento de lodos

Los lodos de las aguas negras están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario junto con el agua que se separa con ellos. Mientras que en algunos casos es satisfactoria la disposición de ellos sin someterlos a tratamiento, generalmente es necesario tratarlos de alguna forma para que su disposición final no cause molestias.

Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de estos eliminar parcial o totalmente el agua que contienen los lodos, para disminuir su volumen en gran proporción y, en segundo lugar, para que se descompongan los sólidos minerales u orgánicos relativamente estables.

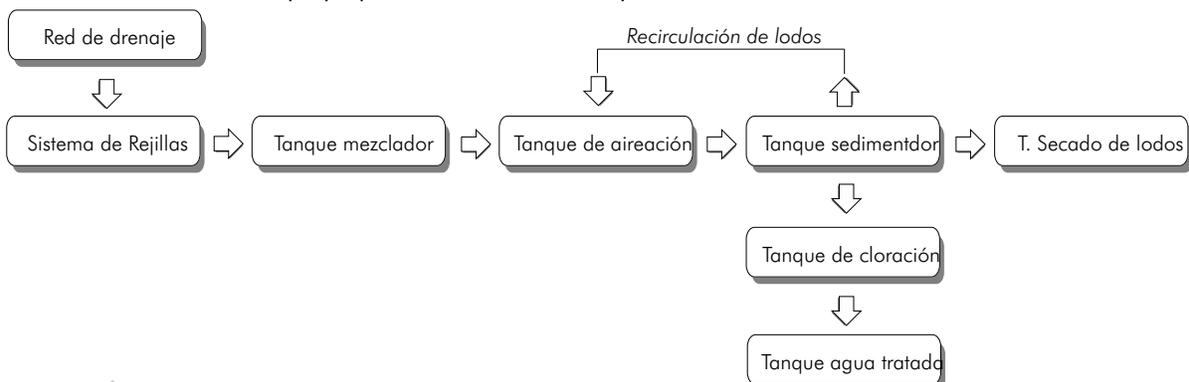
Lo anterior se logra con la combinación de dos o más métodos:

- 1) Secado en lechos de arena, cubierto ó descubiertos
- 2) Digestión con o sin aplicación de calor
- 3) Acondicionamiento con productos químicos
- 4) Elutriación
- 5) Secado
- 6) Incineración

Este proyecto contempla la estabilización de lodos biológicos mediante su deshidratación en tanques de secado, facilitando su manejo y transporte en el empleo de compostas o rellenos sanitarios.

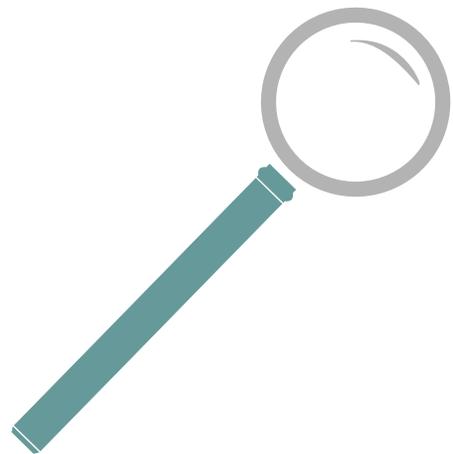
2.11 Diagrama de flujo

El proceso de tratamiento de aguas residuales queda establecido en el siguiente diagrama de flujo (Fig 15), el cual servirá de apoyo para la zonificación y distribución de los elementos.



▲ Fig. 15 Diagrama de flujo de la PTAR.

CAPITULO III
ANÁLISIS DEL SITIO



3.1 Identificación del sitio

El reconocimiento físico del lugar es imprescindible para el proyecto, ya que las formas que se generan como solución funcionarán dentro de un medio físico. Para reconocer el lugar se analizará de lo general a lo particular.

Escala de estudio a nivel estado



▲ Fig. 16 Región mixteca del estado de Oaxaca

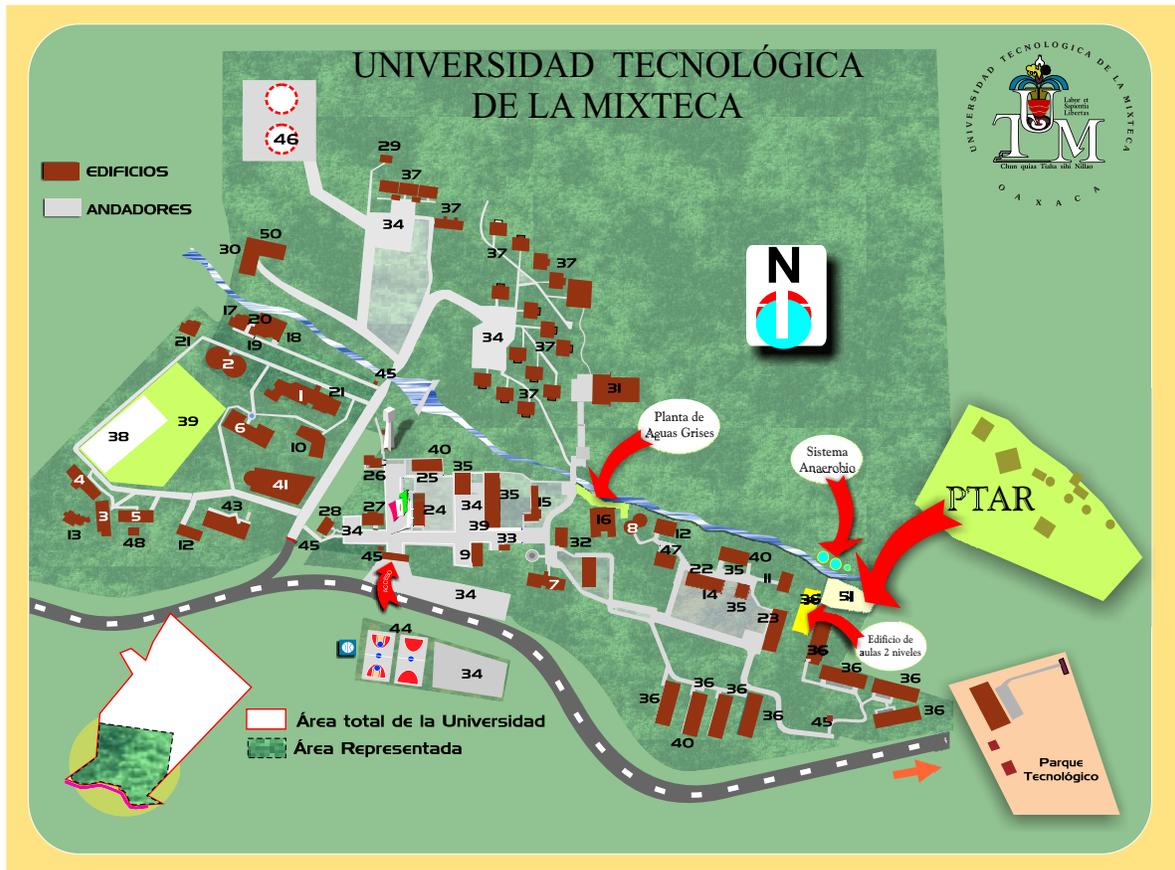
Escala de estudio a nivel distrito



▲ Fig. 17 Huajuapán de León, región mixteca

PLANO DE LA CD DE HUAJUAPAN

Escala de estudio a nivel sitio



Fuente: Instituto de Diseño, UTM

Institutos	Laboratorios	Servicios
1 Instituto de Electrónica y Computación	11 Laboratorio de Fis. y Mat. Aplicadas	30 Servicios Generales
2 Instituto de Diseño	12 Laboratorio de Idiomas	31 Biblioteca
3 Instituto de Agroindustrias	13 Laboratorio Químico Biológico	32 Cafetería
4 Instituto de Hidrología	14 Laboratorio de Química	33 Enfermería
5 Instituto de Minería	15 Laboratorio de Ciencia de los Alimentos	34 Estacionamiento
6 Instituto de Físico y Matemáticas	16 Laboratorios de Electrónica Avanzada	35 Salas de Cómputo I - 8
7 Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades		35 Aulas AOI - A42
		37 Residencias de Profesores OI - 37
		38 Invernadero
		39 Vivero
		40 Sanitarios
		41 Auditorio
		42 Paraninfo
		43 Dpto. de Adquisiciones y Recursos Materiales
		44 Canchas de Fut Ball y de usos multiples
		45 Vigilancia
		46 Helipuerto
		47 Sala de Autoacceso
		48 Cárcamo
		49 Caseta de bombas y cisterna
		50 Bodega General y Archivo muerto
		51 Planta de Tratamiento de aguas negras

Centros	Talleres	Administración
8 Centro de Idiomas	17 Taller de Cerámica	24 Rectoría
9 Ing. Industrial	18 Taller de Maderas	25 Vicerrectoría Administrativa
	19 Taller de Metal- Mecánica	26 Vicerrectoría Académica
	20 Taller de Plásticos	27 Servicios Escolares
	21 Taller de Vidrio y Textiles	28 Auditoría Interna y Delegación de la Contraloría
	22 Taller de Serigrafía	29 Estación Sismológica
	23 Taller de Electrónica	

Postgrado
10 División de Estudios de Posgrado

▲ Fig. 18 Localización de la PTAR en la UTM

3.2 Diagnóstico del medio físico natural

Una vez definida el área de estudio se analizó el medio físico natural tomando en cuenta factores como el clima, geología, hidrología, relieve y suelo.

Clima

En este municipio existen dos estaciones meteorológicas: a) 20-033 Huajuapán de León, 17° 48' latitud norte, 97° 47' longitud oeste altitud de 1650 metros sobre el nivel del mar (msnm); b) 20-215 Santiago Chilixtlahuaca, 17°54' latitud norte, 97°54' longitud oeste, altitud de 1660 msnm.

En esta zona predomina el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 30° C.

Existe una escasez de precipitación pluvial durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo así como octubre, noviembre y diciembre, las precipitaciones de mayor intensidad son en junio, julio, agosto y septiembre que corresponden al verano con un régimen pluviométrico promedio anual de 747 mm.

Los vientos dominantes soplan por el noreste, pero por la orografía del lugar y las bajas presiones estos vientos alisios se desvían y corren del sureste al sur.

Geología

El municipio de Huajuapán de León se encuentra ubicado en el valle inter montañoso llamado Oaxaca, el padrón de drenaje es generalmente dendrítico y subparalelo, sus corrientes principales son de régimen perenne en donde se incluye la corriente Salado-Mixteco.

La zona urbana de la ciudad de Huajuapán de León descansa en su mayor parte en rocas sedimentarias de tipo conglomerado y suelo aluvial que data de la era cenozoica, periodo cuaternario y de la época reciente. El área de los alrededores de la zona urbana a excepción del este, tiene zonas del periodo terciario inferior, época oligoceno y del origen de rocas sedimentarias y de tipo conglomerado. Las agencias de Santa Teresa y Vista Hermosa pertenecen al mismo periodo y época, con la diferencia que las rocas son de clasificación ígneas extrusivas, andesita-brecha volcánica intermedia.

La parte noroeste de la ciudad, por el rumbo de San Andrés Acatlirma se localiza una zona perteneciente al periodo cretáceo inferior con rocas sedimentarias del tipo calizas, roca química constituida por la precipitación del carbonato de calcio; se caracterizan por ser rocas sedimentarias en las cuales la porción de carbonasa está compuesta principalmente de mineral de calcita.

Hidrología

Hidrología superficial: El municipio de Huajuapán de León está dentro de la región hidrológica RH-18 Balsas, clave "A" dentro de la cuenca denominada Río Atoyac, la cual cuenta con dos subcuencas llamadas Río Mixteco y Río Acatlán, ocupando la primera el 78% de la superficie municipal y la segunda el 22% restante.

En el municipio de Huajuapán de León existen tres coeficientes de escurrimiento: planicie que abarca hasta el 10%, esto hace que la velocidad de escurrimientos del agua sea muy baja, permitiendo así que una buena parte se infiltre o se evapore; por lo tanto, el volumen de agua captada es mucho mayor que en las unidades de montaña y lomerío.

Hidrología subterránea: El suelo de la ciudad de Huajuapán de León y sus alrededores se compone de material granular con posibilidades de desarrollar permeabilidad, lo que permite inferir la existencia de agua subterránea, a partir del casco urbano de la ciudad así como en ambos lados de la cuenca del río Mixteco hacia el sur.

Hacia el norte de la ciudad, al poniente y al sur, existe material consolidado con posibilidades bajas, como unidad de rocas cuyas características y condiciones geohidrológicas son desfavorables, dado su origen, presentan baja permeabilidad por no presentar fracturas y por el bajo grado de disolución, por lo que no son susceptibles de contener agua económicamente explotable. La parte norponiente se conforma geológicamente por rocas calizas, lo cual fundamenta la posibilidad de alto potencial hidrológico subterráneo en el área que comprende los poblados de San Andrés Acatlirma y Rancho Solano.

Relieve

Existen en esta zona siete elevaciones que van de los 2 020 a los 2 280 (msnm), ubicados entre los 17°46' y 17°58' de latitud norte y los 97°44' y 97°52' de longitud oeste.

Nombre de los cerros	Altitud msnm	Latitud Norte		Latitud Oeste	
		grados	minutos	grados	minutos
El verde	2,280	17	54	97	48
El quebrado	2,140	17	54	97	45
La peña	2,100	17	56	97	46
El ocote	2,100	17	46	17	51
El mirador	2,080	17	51	17	52
La cumbre	2,020	17	58	17	45
El copal	2,020	17	47	17	44

Tabla 1. Elevaciones principales de la Cd. de Huajuapán de León (Anuario estadístico de la H. Cd. de Huajuapán de León Oax.1999)

Suelo

La Ciudad de Huajuapán de León está ubicada en su parte central sobre unidades de suelo cambisol cálcico y regosol calcárico de clase textura media. En la parte noreste hay unidades de suelo cambisol cálcico, regosol calcárico y al noroeste de la ciudad luvisol cálcico de textura media. Por la parte sureste, hay unidades de luvisol y regosol calcárico de textura media, al suroeste de la ciudad a la altura de Santa María Xochitlopilco se encuentra el feozem hópico con tendencia a la erosión. (Anuario Estadístico de la H. Cd. Huajuapán de León, Oax. 1999)

3.3 Investigación del terreno

El conocimiento físico del suelo es importante ya que de este dependerá la ubicación, cimentación y especificaciones estructurales de una construcción.

La investigación de la resistencia del terreno se hace generalmente de cuatro maneras: (Escuela Mexicana de Arquitectura, Universidad La Salle, 1987)

A) Por comparación: Se hace mediante la comparación del comportamiento del terreno de las construcciones vecinas, haciendo un análisis del sistema constructivo empleado en cada construcción.

B) Investigación directa: Consiste en aplicar una carga sobre una o varias pequeñas superficies de terreno y ver su resistencia.

C) Extracción de muestras: Es la investigación de muestras obtenidas por extracción a diferentes profundidades del terreno.

D) Por perforación: Se hace por medio de barretones que se hincan con martinete, siendo una serie de tubos que se van atornillando a medida que se penetran. La resistencia que el terreno opone a la penetración a diferentes profundidades, indica la capacidad de carga y el espesor de sus capas.



Fig.19 Terreno destinado para la PTAR ▶

Los terrenos según su resistencia se pueden clasificar en: suaves que tienen una resistencia de 5 a 40 ton/m² y los duros de 40 a 300 ton/m². (Tabla 6, anexos) (Escuela Mexicana de Arquitectura, Universidad La Salle, 1987)

Haciendo un recorrido físico, se observó que el terreno destinado para la PTAR es del tipo duro, porque es una zona rocosa con capas vegetales de 5 a 20 cm de espesor y otras con una pequeña capa de tierra ó gravilla. (Fig. 20)



◀ Fig.20 Suelo duro (roca)

Aplicando la investigación por comparación, se encontró que el edificio de aulas de dos niveles esta desplantado sobre roca, y que su cimentación esta nivelada con zapatas corridas y contratrabes de concreto armado, ancladas (60 a 80 cm) a la roca con barrenos y varilla de 1" Ø.



◀ Fig . 2 1
Conectores en zapatas del edificio de aulas de dos niveles

Como el terreno de la PTAR es igual al del edificio de aulas de dos niveles, se determinó que la nivelación del terreno para la construcción de los espacios, se haría con muros de concreto o muros ciclópeo, rellenos de material mejorado. La cimentación no falla por deflexión debido a la dureza del terreno, sin embargo puede sufrir deslizamientos por el peso del agua o por movimientos tectónicos. Para prevenir esta situación se colocarán en los muros de concreto de la cimentación conectores de varilla del No. 8 anclados a la roca 60 u 80 cm.



Fig.22 Contratraves para nivelación de terreno

3.4 Levantamiento topográfico

Como parte adicional del conocimiento físico del terreno para la PTAR, se realizó un levantamiento topográfico que permitió conocer el área disponible así como los distintos niveles y pendientes del terreno. El equipo utilizado para el levantamiento topográfico fue el GPS.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

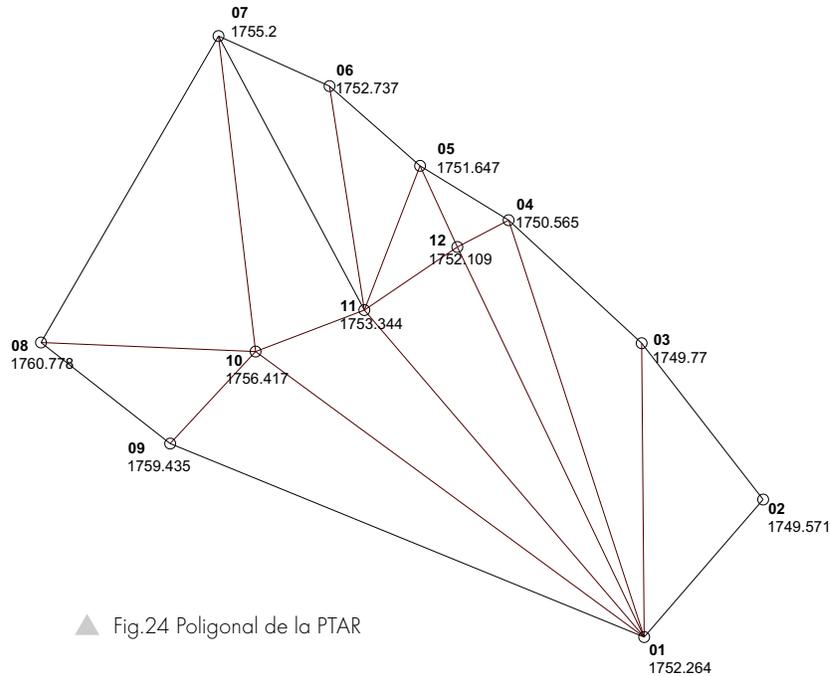
“ El Sistema de Posicionamiento Global es un sofisticado equipo de orientación y navegación, cuyo funcionamiento esta basado en la recepción y procesamiento de las informaciones emitidas por una constelación de 24 satélites conocida como NAVSTAR, ubicados en diferentes orbitas a unos 20 Km por encima de la superficie terrestre.

Cada satélite da dos vueltas diarias al planeta, una cada doce horas. Las trayectorias y la velocidad orbital han sido calculadas para que formen una especie de malla alrededor de la tierra (debe haber en todo momento por lo menos cinco satélites a la vista de cualquier zona), de manera que un receptor GPS a cualquier hora del día o de la noche, en cualquier lugar, con independencia de las condiciones climatológicas, pueda facilitar la posición que ocupa al captar y procesar las señales emitidas por un mínimo de tres satélites” (<http://es.wikipedia.org/wiki/GPS>)



Fig.23 Receptor del GPS
<http://www.codevintec.it/GPS%20odevintec%20sulla%20scogliera.jpg>

En la poligonal los puntos 10,11 y 12 son auxiliares para determinar las curvas de nivel, y se colocaron exactamente donde había cambio de pendiente. Las líneas que están dentro de la poligonal también son auxiliares.



▲ Fig.24 Poligonal de la PTAR

Las curvas de nivel están a cada 25 cm y fueron calculadas con una adaptación de la función de operaciones divididas de aproximación funcional. La formula de interpolación es :

FORMULA DE INTERPOLACIÓN

$$d = \left(\frac{B-I}{S-I} \right) \left(\frac{D}{S-I} \right)$$

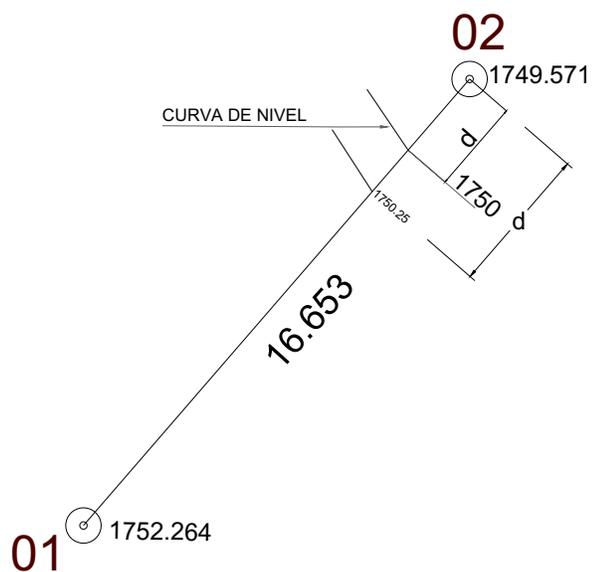
d= Distancia de cota buscada

B=1750 Cota buscada

I=1749.571 Cota inferior

S=1752.264 Cota superior

D=16.653 Distancia entre los dos puntos



▲ Fig.25 Fórmula para el cálculo de las curvas de nivel

PLANO DE LA POLIGONAL
VER ARCHIVO ADJUNTO

PLANO CURVAS DE NIVEL
VER ARCHIVO ADJUNTO

CAPITULO VI
PROCESO DE DISEÑO



Todo proceso creativo es análogo al proceso para la solución de un problema. Se trabaja con la información que se tiene a la mano, se ponen en práctica las experiencias anteriores, se les combina y traslada a las estructuras que en su nueva configuración resuelven un problema, el cual satisface alguna necesidad del ser humano.

4.1 Requerimientos de diseño

Proyectos como una casa habitación, una escuela o un cine son relativamente fáciles de investigar ya que se deduce el funcionamiento debido a que se han utilizado en alguna ocasión, pero al generar proyectos poco comunes, como una fábrica de modelos y moldes para termoformado, o como en este caso una planta de tratamiento de aguas residuales, el tiempo de investigación del proyectista o diseñador se incrementa considerablemente. Para tener una idea mas clara del problema a resolver, es muy útil realizar un análisis en forma conjunta con las personas que han utilizado este tipo de proyectos.

A continuación se presentan los requerimientos de diseño, resultado de análisis del problema en forma conjunta con los especialistas¹ en procesos de tratamiento de aguas residuales.

4.1.1 Requerimientos funcionales

Se refiere a aquellos requisitos que el proyecto debe cubrir en cuanto a la funcionalidad para satisfacer las necesidades derivadas de las actividades o funciones que se realizan en los espacios a diseñar.

A continuación se mencionan los requerimientos funcionales generales de la PTAR.

- 1.-Ubicación del tren de tratamiento optimizando espacios y procesos de operación.
- 2.-Consideración de espacios entre las construcciones para el mantenimiento adecuado de los tanques e instalaciones.
- 3.-Consideración de barandales y pasamanos para seguridad del personal encargado del mantenimiento y monitoreo de la PTAR.

¹ **Especialistas:** Profesores investigadores del Instituto de Agroindustrias e Hidrología de la UTM, encargados del proceso biológico de tratamiento para las aguas residuales generadas en la UTM.

- 4.-Distribución de espacios considerando futuros crecimientos.
- 5.-Distribución de los espacios considerando las dimensiones de los equipos e instalaciones.
- 6.-Aprovechar las pendientes naturales del terreno para la conducción de efluentes.
- 7.-Consideración de un área para almacenar materiales y herramientas.
- 8.- Consideración de acceso peatonal y vehicular en la PTAR.
- 9.-Consideración de pasillos y espacios de circulación en los tanques de aireación y sedimentación para el monitoreo el constante.
- 10.- Consideración de un área de análisis para el agua tratada.
- 11.- Distribución adecuada de las instalaciones hidráulicas y sanitarias.

4.1.2 Requerimientos ambientales

- 1.- Distribuir los espacios de la PTAR sin degradar el medio físico natural.
- 2.- Amortiguamiento del ruido generado por los compresores de aire.
- 3.- Desviar los posibles olores al comenzar a operar la PTAR.
- 4.- Consideración de un área para el secado de lodos.

4.1.3 Requerimientos técnicos

- 1.-Consideración de un "Tanque mezclador" para un volumen de 20 m³ de agua.
- 2.-Consideración de un "Tanque de aireación" para un volumen de 42 m³ de agua.

- 3.-Considerar una salida uniforme del efluente en el tanque de aireación.
- 4.-Consideración de un "Tanque sedimentador" para un volumen de 12.5 m³ de agua.
- 5.-Considerar un desnivel en el fondo del tanque de sedimentación para la acumulación de lodos en un solo punto.
- 6.-Consideración de un área para los tanques cloradores.
- 7.-Considerar válvulas fáciles de operar y resistentes a la intemperie.
- 8.-Proponer materiales de la región.
- 9.-Aprovechar la topografía del terreno.
- 10.-Consideración del tipo de suelo para la cimentación de los tanques de almacenamiento.
- 11.-Consideración de los costos de construcción.
- 12.-Consideración de cargas y presiones en los tanques para el diseño estructural.
- 13.-Consideración de las cargas vivas y muertas que señala el reglamento de construcción para losas y vigas.
- 14.-Consideración de flujos de agua para las instalaciones hidráulicas.
- 15.-Consideración de las normas de construcción vigentes en el estado para la cimentación y anclaje de los elementos.

4.1.4 Requerimientos estéticos

- 1.- Simplicidad en el diseño
- 2.- Uniformidad visual de los elementos de la PTAR
- 3.- Considerar los acabados y la vegetación para el diseño del paisaje.

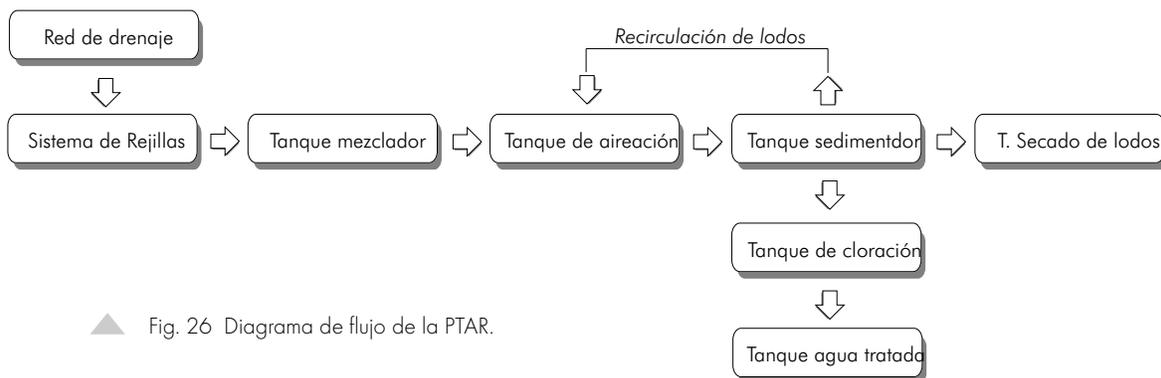
4.2 Metodología del diseño de espacios

Tomando como referencia la metodología de Plazola, se presenta una guía para el diseño de los espacios de la PTAR.

- 1.-Diagrama de Flujo². Establecido anteriormente por los especialistas.
- 2.-Necesidades. Identifica las necesidades que debe satisfacer este proyecto.
- 3.-Programa espacial³. Listado de los espacios requeridos por el proyecto.
- 4.- Estudio de áreas. Se determina el área útil que se requiere para cada necesidad y función específica.
- 5.- Zonificación. Agrupación de necesidades y distribución de los espacios agrupados en el terreno.
- 6.- Diagrama de funcionamiento. Son esquemas gráficos que representan las relaciones inter-espaciales.

4.2.1 Diagrama de Flujo

Es la representación gráfica de una combinación particular de las operaciones y procesos unitarios utilizados para llevar a cabo los objetivos específicos del tratamiento.



▲ Fig. 26 Diagrama de flujo de la PTAR.

² **Diagrama de Flujo:** En la metodología de Plazola aparece como segundo punto, sin embargo para este proyecto se coloca al principio porque ya fue establecido anteriormente por los especialistas y porque además sirve de apoyo a las siguientes etapas de esta metodología.

³ **Programa espacial:** La metodología de Plazola lo denomina Programa Arquitectónico, sin embargo, se le cambió el nombre porque el proyecto no es totalmente arquitectónico, pero hace referencia a lo mismo.

4.2.2 Necesidades

A continuación se presentan las necesidades específicas que deberá satisfacer este proyecto de tesis.

NECESIDADES	LOCAL	MOBILIARIO Y EQUIPO
Homogenizar el agua residual	Tanque mezclador	Difusores de aire, instalaciones y compresor
Tener un flujo constante de entrada	Tanque mezclador	Válvulas
Proporcionar oxígeno al agua	Tanque mezclador y de aireación	Difusores de aire, instalaciones y compresor
Separar los lodos del agua residual	Tanque de sedimentación	
Recirculación de lodos	Tanque de sedimentación	Bomba de recirculación de lodos e instalación de tubería sanitaria
Tratamiento de lodos	Tanques de secado de lodos	Válvulas e instalación de tubería sanitaria
Retención de sólidos mayores que afecten el proceso de tratamiento	Sistemas de rejillas	Estructura metálica (rejillas)
Monitoreo del proceso de tratamiento	Andadores y pasillos	Barandales, tapas de exploración y escaleras de acceso a los tanques
Mantenimiento y limpieza de los tanques	Andadores, pasillos y bodega	Barandales, escaleras, tapas de exploración en tanques, válvulas, material y herramienta de limpieza.
Realizar análisis del agua tratada	Laboratorio sencillo	Mesetas de trabajo, tarja y equipo de laboratorio
Controlar el equipo de la planta (Bombas, difusores de aire)	Cuarto de máquinas	Tableros de control (interruptores) e instalaciones eléctricas
Cambiarse y guardar objetos personales	Área para el encargado	Anaqueles, mesa y silla
Guardar material, herramientas de aseo y mantenimiento	Área de resguardo de materiales	Escoba, jerga, cubeta y herramienta pequeña

Tabla 2. Necesidades ▲

4.2.3 Programa espacial

Es este apartado se muestra el listado de los espacios requeridos para la PTAR tomando en cuenta necesidades futuras.

- 1.- Sistema de rejillas
- 2.- Tanque mezclador
- 3.- Tanque de aireación
- 4.- Tanque sedimentador
- 5.- Tanques cloradores
- 6.- Tanques para secado de lodos
- 7.- Cuarto de máquinas
- 8.- Área para análisis del agua tratada
- 9.- Área de resguardo de materiales

4.2.4 Estudio de áreas

Este apartado se refiere a las dimensiones de los locales, es decir, el área útil que se requiere para cada necesidad y función específica, considerando mobiliario, maquinaria ó equipo, espacios de trabajo y circulaciones particulares.

LOCAL	ÁREA	DIMENSIONES /metros	MOBILIARIO/EQUIPO
Sistema de rejillas	1.70 M2	0.85 X 2 X 1	Rejilla estructural
Tanque mezclador	22.5 M2	4.5 X 5 X 3.30	Bomba de lodos, difusores de aire, válvulas y escalera de acceso
Tanque de aireación	39 M2	6 x 6.5 x 3	Barandal de protección y escalera de acceso, bomba de lodos, válvulas y difusores de aire.
Tanque de sedimentación	17.6 M2	4 x 4.40 x 3.20	Bomba de lodos, válvulas y escalera de acceso.
Tanques de cloración	5.30 M2	Radio =1.3, espesor de 7 a 10 cm	Tanques reforzado de 5 M3
Tanques de secado de lodos	5.04 M2	2.8 x 1.8 x 0.70	Válvulas
Cuarto de máquinas	13.95 M2	3.1 x 4.5 x 2.70	Compresores de aire e interruptores eléctricos
Cuarto de análisis	9.1 M2	2.85 x 3.2 x 3.5	Mesetas de trabajo, tarja y equipo de laboratorio
Área de resguardo de materiales	2.25 M2	1.5 x 1.5 x 2.5	Estante metálico

Tabla 3. Estudio de áreas ▲

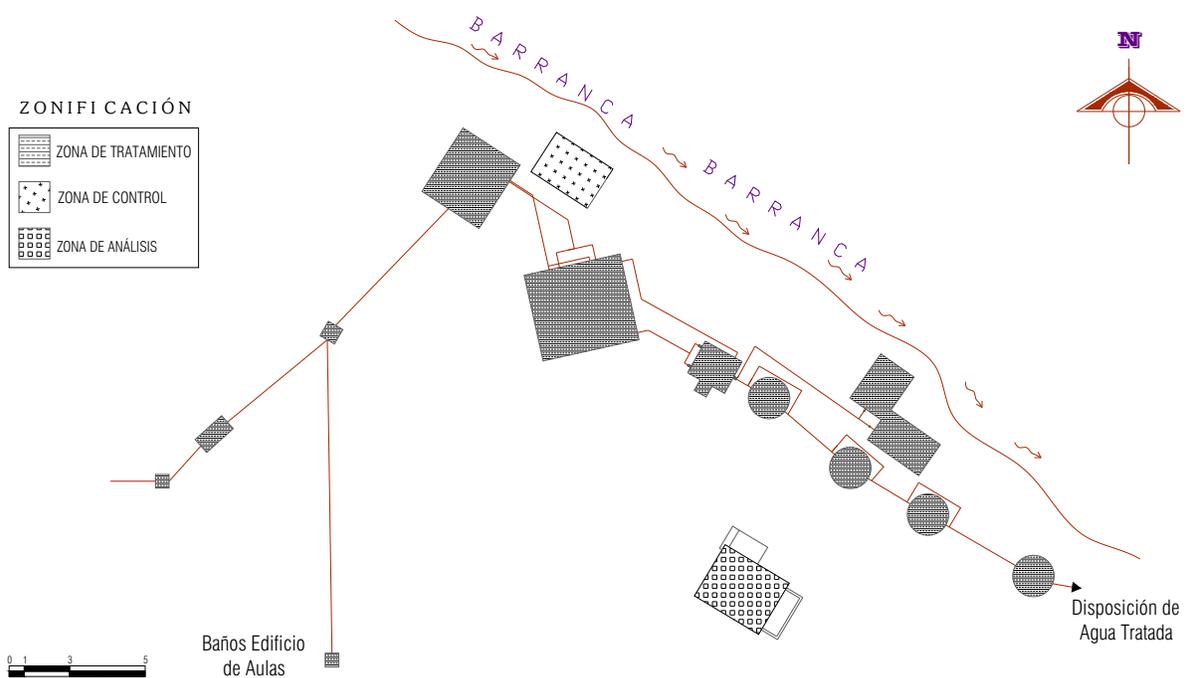
4.2.5 Zonificación

La zonificación o distribución es una de las partes fundamentales de un proyecto. Se dice que es la aliada ineludible de la composición al distribuir los espacios. (Plazola, 1992)

Si bien los elementos de la PTAR son pocos, se pueden agrupar en tres zonas, la zona de tratamiento, de control y la de análisis. El área del encargado se ha considerado dentro del cuarto de análisis, ya que los estudios del agua serán eventuales una vez estabilizada la planta.

Aunque la secuencia de cada uno de los tanques esta determinada por el proceso de tratamiento, la ubicación buscará no afectar la vegetación y aprovechar las pendientes naturales del terreno.

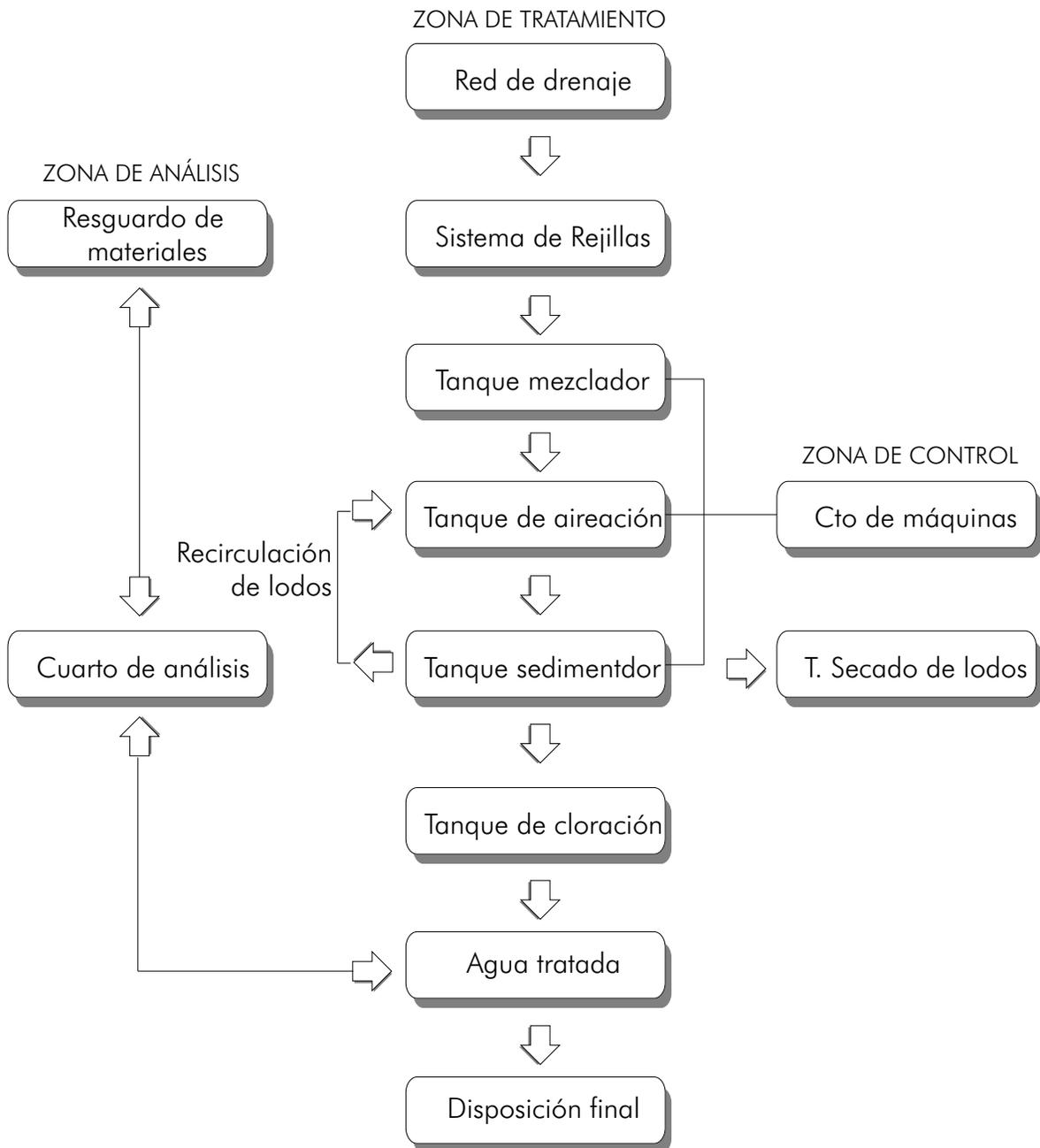
Será importante alejar el sistema de tratamiento del edificio de aulas por los posibles olores al comenzar a operar la PTAR y por el ruido de los compresores.



▲ Fig. 27 Zonificación, PTAR

4.2.6 Diagrama general de funcionamiento de la PTAR

Al conocer el proceso de tratamiento para las aguas residuales y las necesidades espaciales de la PTAR, se transfieren a un diagrama de funcionamiento general.



▲ Fig. 28 Diagrama General de Funcionamiento,PTAR

4.3 Diseño espacial

Los tanques de almacenamiento de las plantas tratadoras de agua pueden ser circulares o rectangulares, la forma va a depender del equipo y/o proceso de tratamiento a seguir. Por ejemplo, cuando en una planta tratadora, el proceso primario (homogenización del influente⁴) se lleva cabo mediante aspas mecánicas, se utiliza la forma circular, debido a que el centro del tanque es el eje de rotación de las aspas. Los contenedores circulares son muy comunes en procesos físico químicos para poblaciones de 5000 habitantes en adelante.

Así mismo, la construcción de contenedores circulares es más compleja que la de los rectangulares porque requieren cimbra especial (p.ejem. estructuras metálicas). La cimbra de madera en los tanques circulares es poco utilizada debido a que el volumen que se emplea es demasiado y el tiempo de ejecución de las obra se extiende.

Para este proyecto, los especialistas han considerado que el proceso de homogenización del influente sea con neumáticos, por lo que una forma rectangular en los tanques no afectaría a dicho proceso.

Debido a que se realizaran actividades de mantenimiento y monitoreo, se aplicará la antropometría en andadores pasillos, escaleras, barandales, accesos, etc.

⁴ **Influente:** Agua residual que entra a los tanques para su tratamiento. Una vez que sale de ellos se le denomina efluente.

4.4 Diseño estructural

Existen varios materiales que sirven para la construcción de muros y losas, sin embargo, se determinó que los tanques de almacenamiento de la PTAR sean de concreto armado por las siguientes razones:

El tipo de suelo no permite enterrar los tanques, por lo que se necesita un material que resista la presión del agua, y que además no de lugar a filtraciones.

Los volúmenes de agua que se manejarán son de 12.5, 20 y 42 m³ y los muros de tabique o tabicón no aseguran resistencia e impermeabilidad, a menos que sea con muro 21 y con acabados especiales (aplanado rústico, acabado pulido y pintura epóxica). Este proceso constructivo podrá ser relativamente más económico que el concreto armado, sin embargo requiere mayor tiempo para su elaboración.

Con el ferreamiento, existe incertidumbre en la resistencia, debido a que las secciones del muro son pequeñas y a que se necesita mano de obra especializada para su correcta elaboración.

Las piezas de Panel W, ofrecen muros con secciones muy pequeñas, y aunque se pueden empalmar con refuerzos de varilla para lograr el espesor deseado, existe la posibilidad de tener filtraciones o agrietamientos en la unión de las piezas. Además, para que el panel sea impermeable, necesita acabados similares a los del muro de tabique.

4.4.1 Componentes del concreto

a) Cemento

El elemento principal del concreto es el cemento y el más usado para su fabricación es el Cemento Pórtland, y según el A.S.T.M.⁵ en sus especificaciones le da la siguiente definición: "Cemento Pórtland Artificial es un producto obtenido por molienda fina de clinker producido por una calcinación hasta la temperatura de fusión incipiente, de una mezcla íntima, rigurosa y homogénea de materiales arcillosos y calcáreos, sin adición posterior a la calcinación, excepto yeso calcinado o no calcinado y en cantidad no mayor que el 3%".

⁵ ASTM: American Society for Testing and Materials

Los principales constituyentes del cemento Pórtland son: la cal, el sílice y alúmina; que contienen además pequeñas cantidades de óxido de hierro (Fe_2O_3), magnesia MgO , trióxido de sulfuro SO_3 , álcalis ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) y bióxido de carbono CO_2 .

b) Agua

Durante la mezcla de los agregados y el cemento se debe utilizar agua exenta de materia orgánica o sales, tales como los cloruros o sulfatos, ya que la presencia de estos en el concreto, reducen considerablemente su resistencia.

c) Los agregados

Los agregados o materiales inertes se dividen en finos y gruesos, los primeros constituyen las arenas y los segundos, dependiendo del tamaño máximo de sus granos, comprenden; confitillo, grava y matatena (Tabla 4). Los agregados tienen gran influencia en las mezclas en que intervienen, pues de sus características físicas, químicas y mecánicas, dependen los resultados que se buscan.

Denominación	Tamaños	
	Desde	Hasta
ARENAS	0.02 mm	6 mm (1/4 ")
CONFITILLO	6mm (1/4")	38 mm (1 1/2")
GRAVA	38 mm (1/2")	89 mm(3 1/2")
MATATENA	89 mm (3 1/2")	152 mm (6")

Tabla 4 Clasificación de los agregados ►

Arena

Están constituidas por granos sueltos, incoherentes y de estructura cristalina que provienen de la disgregación de las rocas naturales por procesos mecánicos o químicos y que, arrastrados por corrientes aéreas o fluviales, se acumulan en lugares determinados. Artificialmente se obtienen por trituración y molienda de las rocas duras.

Las arenas de acuerdo con su procedencia o localización, se denominan: de río, mina, playa o dunas artificiales. Las arenas de río, generalmente de partículas redondas por el acarreo que han sufrido, pueden contener arcillas y otras impurezas, o bien, estar limpias, dependiendo de su localización. Las arenas arcillosas se pueden emplear si la cantidad de arcilla es menor que el 3%, pues altera el fraguado y la plasticidad de los morteros.

Las arenas de mina, están formadas generalmente por granos más angulosos y ordinariamente contienen arcilla y materias orgánicas. Mediante un proceso de lavado pueden usarse ventajosamente. Las arenas de dunas o playas pueden emplearse en la construcción mediante un proceso previo de lavado con agua dulce y siempre que sus granos tengan el tamaño adecuado, pues contienen sales alcalinas que absorben y retienen la humedad y con el tiempo dañan los acabados interiores.

Las arenas artificiales son granos angulosos y de superficies rugosas, están exentas de polvos por el proceso de cribado y selección a que se les somete después de ser trituradas y molidas. Son aptas para morteros y concretos, siempre que provengan de rocas duras y no tengan aristas muy vivas y ángulos muy agudos, pues hacen que disminuya la resistencia del conjunto.

Las arenas de forma esférica, además de presentar una masa mas compacta que otra de granos angulosos y aplastados, proporcionan menor superficie de contacto y menos superficie a recubrir con la lechada; por consiguiente, cuanto mas se aproxime la forma de los granos a la esfera, tanto más compactos, resistentes y económicos resultarán los morteros.

Grava

Al igual que los agregados finos, los agregados gruesos deben estar limpios, tener una composición química estable y ser resistentes. El tamaño de los agregados varía con la clase de la obra, empleándose desde 50 a 100 mm, en las obras de concreto en masa o ciclópeo. En el concreto armado el tamaño está obligado por la separación del refuerzo y se exige que tenga un máximo inferior a $\frac{1}{4}$ "

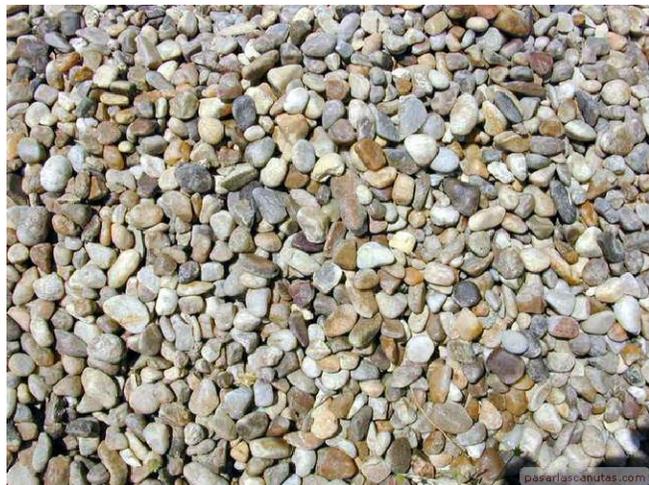


Fig 29
Grava de río ▶

de la mínima separación entre refuerzos, o entre el molde y el refuerzo externo.

Experimentalmente se ha comprobado que la masa de los agregados gruesos que presenta mayor compacidad, resistencia y plasticidad, es la que está constituida por partículas de forma aproximadamente esféricas. Por lo tanto, no se recomienda aceptar partículas de forma alargada o lajeada.

Los agregados gruesos se preparan para su empleo:

- a) Cribándolos, para obtener sus distintos gruesos de acuerdo con el agregado de que se trate.
- b) Lavándolos, para eliminar las sales, arcillas y demás sustancias extrañas.
- c) Secándolos en caso de ser necesario.

El cribado y el lavado pueden considerarse como indispensables cuando se quieren obtener materiales inertes que garanticen la futura calidad de los hormigones.

4.4.2 Concreto

Los Hormigones o concretos son piedras artificiales que tienen por materia prima: al cemento, agregados inertes de diversos tamaños y agua. Constituyen inicialmente una masa plástica que se adapta a cualquier forma; posteriormente, al endurecerse el aglutinante (cemento combinado con agua), se transforma en una masa pétreo de resistencia predeterminada y adecuada con la obra a realizar.

La compactación de la mezcla es requisito de resistencia en un hormigón, mas no es condición única. Aunque se puede determinar con ella la cantidad de materiales necesarios, es importante también tomar en cuenta el factor plasticidad, es decir, la cantidad de agua necesaria para hidratar los constituyentes del cemento y dar manejabilidad a la masa.

Estudios hechos por el Dr. Duff A. Abrams, demostraron que la resistencia de los hormigones depende la relación agua-cemento, y que la trabajabilidad de los mismos es función del módulo de finura⁶ de los agregados. (Miguel, 1965)

4.4.3 Revenimiento

Dada la importancia de la plasticidad o factibilidad de manejo de un hormigón, existe un ensayo llamado revenimiento, que consiste en medir el hundimiento que sufre un tronco de cono de hormigón fresco al retirarle el apoyo. En esta prueba se usa un molde metálico troncocónico (Fig. 30), de 30 cm de alto, 10 cm de diámetro en su base superior y 20 cm de diámetro en su base inferior, llamado cono de Abrams.

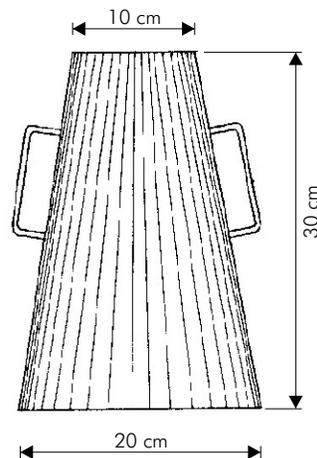
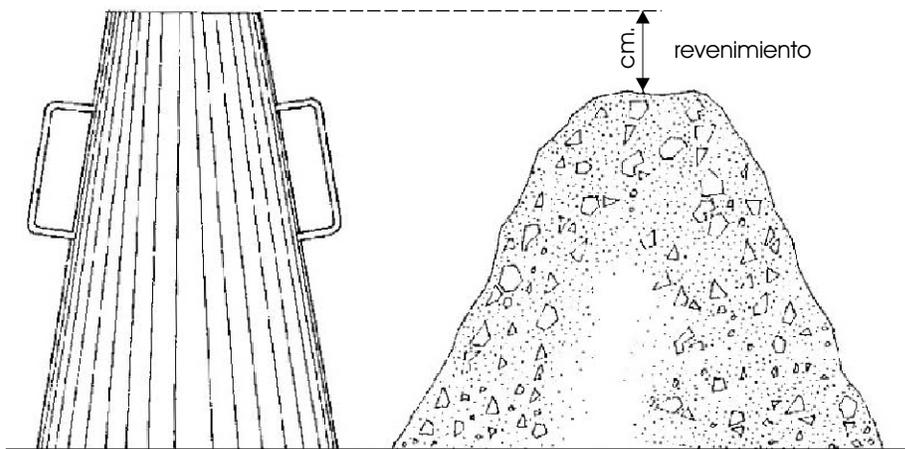


Fig 30. Cono de revenimiento ▶

⁶ Módulo de finura: composición granulométrica de los agregados según caracterización del Dr. Duff A. Abrams (Miguel, 1965).

La prueba se lleva a cabo colocando el molde sobre una superficie horizontal y se vacían en el, hasta llenarlo, tres veces capas de igual espesor, de la revoltura cuya plasticidad se desea clasificar, picando cada una de dichas capas 25 veces con una varilla de 5/8" para apisonar el material. Se enrasa el hormigón al nivel de la base superior del molde que se saca cuidadosamente hacia arriba; sobre la superficie horizontal, donde descansa el cono, queda la revoltura que por falta de apoyo de las paredes laterales del molde se asentará más o menos según su fluidez. La diferencia en centímetros entre la altura del molde y la final de la pasta fresca, se denomina revenimiento y es tanto mayor cuanto más fluida es la revoltura. (Fig. 31)



▲ Fig 31 Determinación del revenimiento

Los revenimientos más usuales según la clase de obra a que destina el hormigón son:

Clase de estructura	Revenimiento en cm			
	Fluidez de la mezcla	Mínimo	Máximo	Promedio
Presas, pilas de puentes, cimientos, rellenos, pavimentos.	Seca	0	8	4
Losas y trabes; muros gruesos	Plástica	8	12	10
Columnas y muros; piezas de pequeñas dimensiones con gran cantidad de refuerzo	Fluida	10	20	15

▲ Tabla 5 Revenimientos

Siendo la prueba de revenimiento, la manera más usual de medir y controlar la plasticidad de los hormigones, es conveniente que esta prueba se esté realizando al pie de la obra, pues variaciones en el revenimiento acusan exceso o faltante en la cantidad de agua, esto puede deberse a mayor o menor humedad en los agregados, a descuido del operador en la mezcladora, o bien al cambio en los materiales inertes. Si esta prueba se lleva a cabo con la rigurosidad que exigen las obras, se tendrá siempre un hormigón uniforme en resistencia y tabajabilidad.

4.4.4 Fraguado y endurecimiento del cemento

El cemento al amasarse con agua, forma una masa o pasta suave y plástica que posteriormente se consolida y endurece, presentando aspecto pétreo, debido a las reacciones químicas que se verifican entre los componentes del cemento y el agua. Estas reacciones dan origen a dos periodos denominados de fraguado y de endurecimiento; dentro del primero encontramos el fraguado inicial que oscila entre 50 y 60 minutos y el fraguado final que oscila entre 9 y 10 horas. El segundo se considera indefinido, aunque para los efectos de construcción se estime 28 días, ya que pasado este tiempo, el incremento de resistencia que adquiere la masa pétreo es muy lento.

Cuando las circunstancias lo requieran se utilizarán “acelerantes” o “retardantes” para el fraguado, a base de compuestos de cloruro de calcio para acelerar el fraguado y anhídrido sulfúrico o yeso para retardarlo.

4.4.5 Curado del concreto

Curar el hormigón o concreto, es conservarlo húmedo de 14 a 28 días a partir de su fraguado final, tiempo suficiente para que el concreto alcance el 75% de su resistencia. Esta operación es importante para que el hormigón dosificado conserve la resistencia prefijada y quizás para incrementarla. El agua de mezclado en el hormigón fresco es algo mayor que la que el cemento requiere para la hidratación de sus compuestos; sin embargo, una pérdida apreciable de esta agua, ya sea por evaporación o por otro medio, después de haber realizado su fraguado inicial, impedirá la completa hidratación de los compuestos del cementos ya la resistencia prefijada decrecerá notablemente. Por lo tanto, el objetivo del curado es impedir la perdida parcial del agua necesaria, o bien, reintegrarla, para asegurar la correcta hidratación.

La forma de realizar el curado puede ser variada, pero la más general consiste en cubrir la superficie con una película impermeable a base de asfalto, alquitrán, silicato de sodio, etc.; o sencillamente mojando la superficie colada expuesta a la evaporación.

4.4.6 Impermeabilidad del concreto

Los cementos impermeables son aquellos con los que se pretende producir concretos más impermeables que los del Cemento Pórtland. Se obtienen agregando al Cemento Pórtland normal durante una molienda final, pequeños porcentajes de estearato de calcio, aluminico o de otro metal.

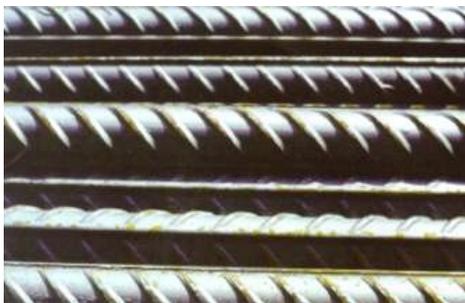
Para obtener concretos impermeables, puede agregarse al cemento normal un impermeabilizante integral (ácido esteárico, saponificadores), aditivo que existen en el mercado en varias marcas, o bien, tierras diatomáceas finamente pulverizadas en cantidad no mayor del 3.5 a 4% con relación al peso del cemento.

4.6.7 Concreto Reforzado

Se conoce con el nombre de concreto reforzado, al concreto que lleva en su seno un refuerzo metálico, cuya función es la de absorber esfuerzos de tensión, que el concreto simple por su calidad de piedra artificial no sería capaz de soportar.

El acero para reforzar concreto se utiliza en distintas formas; la más común es la barra o varilla que se fabrica tanto de acero laminado en caliente, como de acero trabajado en frío. Los diámetros usuales de barras producidas en México varían de $\frac{1}{4}$ pulg. a $1 \frac{1}{2}$ pulg.

El peso volumétrico se tomara de 2 000 a 2 200 k/m^3 para el concreto simple y en 2 300 a 2 400 kg/m^3 para el concreto armado.



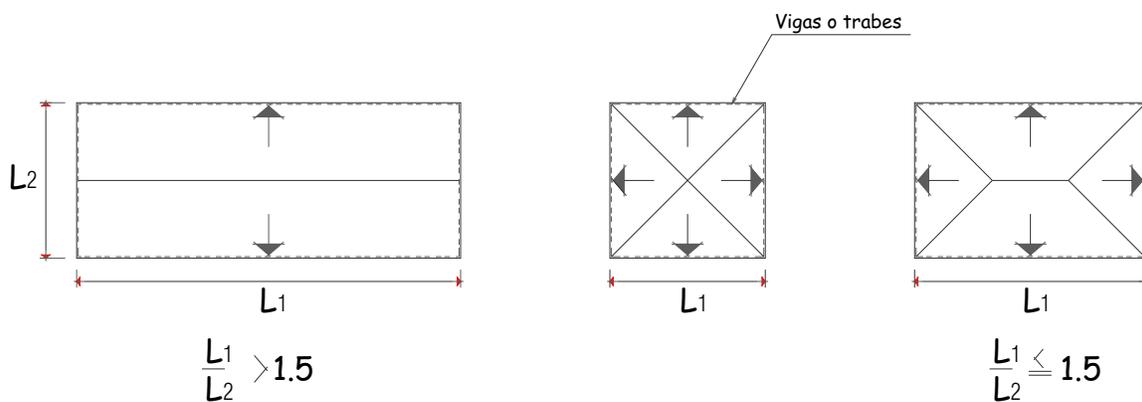
◀ Fig 32 Varilla corrugada para refuerzo del concreto

4.4.8 Concepción estructural

Las losas se pueden dividir en apoyadas en dos lados opuestos (armadas por cálculo en un solo sentido) y en losas perimetrales, apoyadas en dos lados adyacentes, tres o en sus cuatros lados, cuya flexión se ejerce en dos direcciones perpendiculares entre sí (armadas por cálculo en dos sentidos). (Perez, 1988)

Aunque una losa se encuentre apoyada en todo su perímetro, dejará de ser perimetral si su relación entre lado mayor y lado menor excede de una vez y media; en estos casos, las losas se calcularán tomando la flexión en sentido perpendicular a los apoyos. (Perez, 1988)

En la figura 33 se puede observar la repartición de cargas en una losa y la carga que les corresponde a las vigas ó trabes.



▲ Fig 33 Repartición de cargas en losa y trabes.

Las losas apoyadas en lados opuestos se calculan en forma semejante a las vigas rectangulares, considerando para mayor facilidad en el cálculo un ancho de losa de 1.00 metro.

Perpendicular a los apoyos, colocamos el armado principal que absorberá los esfuerzos de tensión producidos por la flexión de la pieza. Formando un ángulo de 90° con la armadura principal, se colocará otra armadura llamada por temperatura y unida a aquella con alambre recocido, cuya función es la de tomar esfuerzos originados por el fraguado, resistir contracciones o dilataciones y permitir que permanezcan en su posición, mientras se hace el vaciado del concreto en los moldes.

Los muros de los tanques se calcularon como losas empotradas en ambos extremos con cargas uniformemente distribuidas o con cargas triangulares, los pasillos del tanque de aireación se analizaron como vigas empotradas en voladizo y carga uniformemente distribuidas. Las fórmulas se obtuvieron de las figuras 34,35 y 36. (Anexos)

4.4.9 Dimensionamiento estructural

Tanque mezclador

Datos

$F'_c = 250 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo máximo de resistencia del concreto

$F_c = 113 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo elástico de resistencia del concreto

$F_y = 2,530 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo máximo de resistencia del acero

$F_s = 1,265 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo elástico de resistencia del acero

$j = 0.82$ Constante

$Q = 24.50$ Constante

$W =$ Carga total en Kg

$w =$ carga uniformemente repartida por unidad de longitud, en kg.m ó kg/m^2 .

$M_{\text{máx.}}$ = Momento Máximo

$\delta_{\text{máx.}}$ = Esfuerzo cortante máximo

Losa de azotea

Las dimensiones de la losa son de 2.90 m x 3.40 m, la relación entre largo y ancho es de 1.17, menor a 1.5, por lo que debe ser analizada en los dos sentidos. Se propone un espesor de 10 cm.

Análisis de cargas

Cargas	Volumen	Peso en kg
Losa de concreto armado	2.9 m x 3.4 m x 0.10 m x 2400 kg/m^3	2,366.4
Carga muerta	2.9 m x 3.4 m x 20 kg/m^2	197.2
Carga viva	2.9 m x 3.4 m x 70 kg/m^2	690.2
Carga viva transitoria	2.9 m x 3.4 m x 200 kg/m^2	1,972
	Peso total	5,225.80 kg

La carga por metro cuadrado (w) será de: $5,225.80 \text{ kg} / (2.9 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}) = 530 \text{ kg/m}^2$

Determinación del **momento máximo**

$M = -wl^2 / 12$ Momento en el extremo de una viga empotrada en ambos extremos (Fig. 35, anexos)

$$M_{3.40} = (530 \text{ kg/m}^2) (3.4 \text{ m})^2 (1 \text{ m}) / 12 = 510.56 \text{ kg.m}$$

$$M_{2.90} = (530 \text{ kg/m}^2) (2.9 \text{ m})^2 (1 \text{ m}) / 12 = 176.66 \text{ kg.m}$$

Obteniendo el **peralte efectivo**:

$b =$ base de la viga
 $d = \sqrt{(M/Qb)}$, $d = \sqrt{(51056 / 24.5 \times 100)}$ $d = 4.56 \text{ cm}$
 Agregando el recubrimiento tenemos un peralte total de 10 cm.

Área de acero para la parrilla superior

Como los momentos son negativos se tiene:

$$A_s = M_{\text{máx}} / f_s j d$$

Utilizando el peralte efectivo tenemos:

$$A_s = 51,056 / (1265 \times 0.82 \times 4.56) \quad A_s = 10.79 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 1/2''$ tendremos = $10.79 / 1.27 \approx 9$

Separación de las varillas = $100 \text{ cm} / 9 \varnothing \approx 11 \text{ cm}$

Armado: $\varnothing 1/2'' @ 11 \text{ cm}$ que deberán colocarse en una capa, en el lecho inferior de la parrilla superior

$$A_s = 17,666 / (1265 \times 0.82 \times (4.56 - 1.27)) \quad A_s = 5.18 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 3/8''$ tendremos: $5.18 / 0.71 \approx 8$

Separación de las varillas = $100 \text{ cm} / 8 \varnothing \approx 12.5 \text{ cm}$

Armado: $\varnothing 3/8'' @ 12.5 \text{ cm}$ que deberán colocarse en una capa, en el lecho superior de la parrilla superior

Determinación del punto de Inflexión

$$P. \text{ inflexión} = 0.2113 (L)$$

$$P. \text{ inflexión}_1 = 0.2113 (3.40) = 0.72 \text{ m} + L_a$$

$$P. \text{ inflexión}_2 = 0.2113 (2.90) = 0.61 \text{ m} + L_a$$

Área de acero parrilla inferior

$M = -wl^2 / 24$ Momento flexionante en el centro de una viga empotrada en ambos extremos (Fig. 35 en anexos)

$$M_{3.40} = (530 \text{ kg/m}^2) (3.4 \text{ m})^2 (1 \text{ m}) / 24 = 255.28 \text{ kg.m}$$

$$M_{2.90} = (530 \text{ kg/m}^2) (2.9 \text{ m})^2 (1 \text{ m}) / 24 = 185.72 \text{ kg.m}$$

Como los momentos son positivos se tiene:

$$A_s = 25,528 / (1265 \times 0.82 \times 4.56) \quad A_s = 5.39 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 3/8''$ tendremos = $5.39 / 0.71 \approx 8$

Separación de las varillas = $100 \text{ cm} / 8 \varnothing \approx 12.5 \text{ cm}$

Armado: $\varnothing 3/8'' @ 12.5 \text{ cm}$ que deberán colocarse en una capa, en el lecho inferior de la parrilla inferior

$$A_s = 18,572 / (1265 \times 0.82 \times (4.56 - 0.95)) \quad A_s = 4.95 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 3/8''$ tendremos: $4.95 / 0.71 \approx 7$

Separación de las varillas = $100\text{cm} / 7 \varnothing \approx 14 \text{ cm}$

Armado: $\varnothing 3/8'' @ 14 \text{ cm}$ que deberán colocarse en una capa, en el lecho superior de la parrilla inferior.

Revisión a **cortante**

$$V = w l / 2$$

$$V = (530 \text{ kg/m}^2 \times 3.40 \text{ m})(1 \text{ m}) / 2 = 901 \text{ kg}$$

Esfuerzo que se aplica

$$\delta = V / b d$$

$$\delta = 901 \text{ kg} / (100 \text{ cm} \times 4.56 \text{ cm}) = 1.97 \text{ kg/cm}^2$$

El concreto toma :

$$\delta_c = 0.5 F'_c = 0.5 \times 15.81 = 7.9 \text{ kg/cm}^2 > 1.97 \text{ kg/cm}^2$$

La losa no falla por cortante y en la mayoría de los casos no fallará a este esfuerzo. Solamente cuando a la losa se le apliquen cargas muy fuertes, es posible que la falla se lleve a cabo. (Pérez, 1988)

Revisión del **esfuerzo de adherencia:**

$$u = V / (E_o \times j \times d)$$

E_o = Suma de los diámetros

$$u = 901 \text{ kg} / (9 \times 4) (0.82 \times 4.56)$$

$$u = 901 \text{ kg} / 134.61 \text{ cm}^2 = 6.7 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo permisible de adherencia según el artículo 229, inciso III del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (Pérez, 1988) es de:

$$u \geq 2.25 F'_c \varnothing = 2.25 \times 250 \times 1.27 = 28.01 \text{ kg/cm}^2$$

$28.01 \text{ kg/cm}^2 > 6.7 \text{ kg/cm}^2$, por lo que no hay falla por adherencia.

Longitud de anclaje

$$L_o = F_s \varnothing / 4u = (1265 \times 1.27) / (4 \times 28.01) = 14.33 \text{ cm}$$

Sin embargo, el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal en su artículo II, nos dice: En varillas corrugadas, la longitud de anclaje (L_a) será igual o mayor que $12 \varnothing$ s. (Pérez, 1988)

Losa de cimentación

Las dimensiones son las mismas que la tapa, 2.9 m x 3.4 m, por lo que la losa debe ser analizada en los dos sentidos. El peso del agua esta dado por 1000 kg/m^3 .

Se calculan las cargas en ambos sentidos para determinar el momento máximo:

Cargas	Volumen	Peso en kg
Agua	$2.9 \text{ m} \times 3.4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3$	29,580
Losa de concreto armado	$2.9 \text{ m} \times 3.4 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	4,732.8
	Peso total	34,312.8 kg

La carga por metro cuadrado (w) será de: $34,312.8 \text{ kg} / (2.9 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}) = 3,480 \text{ kg/m}^2$

Determinación del momento máximo

$M = -wl^2 / 12$ Momento en el extremo de una viga empotrada en ambos extremos

(Fig. 35, anexos)

$$M_{3.4} = (3,480 \text{ kg/m}^2)(3.4\text{m})^2 (1\text{m}) / 12 = 3,352.24 \text{ kg.m}$$

$$M_{2.9} = (3,480 \text{ kg/m}^2)(2.9\text{m})^2 (1\text{m}) / 12 = 2,382.83 \text{ kg.m}$$

Peralte efectivo

Tomamos el momento máximo que es 3,352.24 kg.m

$$d = \sqrt{(M / Qb)}$$

$$d = \sqrt{(335,224) / (24.5 \times 100)} = 11.70 \text{ cm}$$

Ahora se calcula el área de acero

El peso del agua es igual a la carga que trasmite el suelo a la losa de cimentación, pero en sentido invertido, por lo tanto los momentos se vuelven positivos.

$$A_s = M_{\text{máx}} / f_s j d$$

$$A_s = (335,224 \text{ kg/cm}) / (1265 \times 0.82 \times 11.70) = 27.62 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 3/4$ " tendremos: $27.62 / 2.87 \approx 10$

Separación de las varillas = $100\text{cm} / 10 \varnothing = 10 \text{ cm}$

Armado = $\varnothing 3/4$ " @ 10 cm que deberán colocarse en una capa, en el lecho superior de la parrilla inferior.

$$A_s = (238,283 \text{ kg/m}) / (1265 \times 0.82 \times (11.70 - 2.87)) = 26.01 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 3/4$ " tendremos: $23.46 / 2.87 \approx 9 \varnothing$

Separación de las varillas = $100 \text{ cm} / 9 \varnothing \approx 11 \text{ cm}$

Armado = $\varnothing 3/4$ " @ 11 cm que deberán colocarse en una capa, en el lecho inferior de la parrilla inferior

Área de acero parrilla superior

$M = wl^2 / 24$ Momento flexionante en el centro de una viga empotrada en ambos extremos (Fig. 35 en anexos)

$$M_{3.40} = (3,480 \text{ kg/m}^2) (3.4 \text{ m})^2 (1 \text{ m}) / 24 = 1,676.2 \text{ kg.m}$$

$$M_{2.90} = (3,480 \text{ kg/m}^2) (2.9 \text{ m})^2 (1 \text{ m}) / 24 = 1,219.45 \text{ kg.m}$$

Como los momentos son negativos se tiene:

$$A_s = 167,620 / (1265 \times 0.82 \times 11.70) \quad A_s = 13.81 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 5/8$ " tendremos = $13.81 / 1.99 \approx 7$

Separación de las varillas = $100 \text{ cm} / 7 \varnothing \approx 14 \text{ cm}$

Armado: $\varnothing 5/8$ " @ 14 cm que deberán colocarse en una capa, en el lecho superior de la parrilla superior

$$A_s = 121,945 / (1265 \times 0.82 \times (11.70 - 1.99)) \quad A_s = 12.10 \text{ cm}^2$$

Con varillas de $\varnothing 1/2$ " tendremos: $12.10 / 1.27 \approx 10$

Separación de las varillas = $100 \text{ cm} / 7 \varnothing \approx 14 \text{ cm}$

Armado: $\varnothing 1/2$ " @ 14 cm que deberán colocarse en una capa, en el lecho inferior de la parrilla superior

La revisión al cortante, esfuerzo por adherencia y longitud de anclaje se calcularon de la misma manera que en la losa de azotea.

Muros

Las cargas de los muros varían dependiendo el sentido de la viga. Si es horizontal, será una carga uniformemente distribuida y si es vertical será una carga triangular.

Para tener uniforme el espesor de los muros, se calculó el momento máximo de todos los muros:

Para el muro del eje 1 tramo A-B se tiene:

Muro con carga uniformemente distribuida

$$W = wl$$

$$W_{\text{hor}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (2.90 \text{ m}) = 2900 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{hor} = w l^2 / 12$$

$$M_{hor} = (2900 \text{ kg/m}^2)(2.90\text{m})^2(1\text{m})/12 = 2,032.41 \text{ kg.m}$$

Muro con carga triangular (Fig. 34, anexos)

$$W = w l$$

$$W = (1000 \text{ kg/m}^3)(3.90 \text{ m})/2 = 1950 \text{ kg/m}^2$$

$$M = W l / 10$$

$$M = (1950 \text{ kg/m}^2)(3.90\text{m})/10 = 760.5 \text{ kg.m}$$

Para el muro del eje A tramo 1-2 se tiene:

Muro con carga uniformemente distribuida

$$W_{hor} = (1000 \text{ kg/m}^3)(3.40 \text{ m}) = 3400 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{hor} = (3400 \text{ kg/m}^2)(3.40\text{m})^2(1\text{m})/12 = 3,275.33 \text{ kg.m}$$

Como se vio anteriormente, el peralte efectivo para un momento máximo de **3,275.33 kg.m** es de **11.56 cm**, por lo que se procede al cálculo de acero.

Para el muro del eje 1 tramo A-B se tiene:

$$A_s = M_{m\acute{a}x} / f_s j d$$

$$A_s = (203,241) / (1,265 \times 0.82 \times (11.56)) = 16.89 \text{ cm}^2$$

$$\text{Con varillas de } \varnothing 5/8 \text{ " tendremos: } 16.89 / 1.99 \approx 9 \varnothing$$

$$\text{Separación de las varillas} = 100\text{cm} / 9 \varnothing \approx 11 \text{ cm}$$

Armado: 9 $\varnothing 5/8$ " @ 11 cm que deberán colocarse en una capa exterior

$$A_s = (76,050 \text{ kg/cm}^2) / (1,265 \times 0.82 \times (11.56 - 1.59)) = 7.33 \text{ cm}^2$$

$$\text{Con varillas de } \varnothing 1/2 \text{ " tendremos: } 7.33 / 1.27 \approx 6 \varnothing$$

$$\text{Separación de las varillas} = 100\text{cm} / 6 \varnothing \approx 17 \text{ cm}$$

Armado: 6 $\varnothing 1/2$ " @ 17 cm que deberán colocarse en una capa interior

Para el muro del eje A tramo 1-2 se tiene:

$$A_s = M_{m\acute{a}x} / f_s j d$$

$$A_s = (327,533 \text{ kg/cm}^2) / (1,265 \times 0.82 \times (11.56)) = 27.31 \text{ cm}^2$$

$$\text{Con varillas de } \varnothing 3/4 \text{ " tendremos: } 27.31 / 1.99 \approx 10 \varnothing$$

$$\text{Separación de las varillas} = 100\text{cm} / 10 \varnothing \approx 10 \text{ cm}$$

Armado: 10 $\varnothing 3/4$ " @ 10 cm que deberán colocarse en una capa exterior

$$A_s = (76,050 \text{ kg/cm}^2) / (1,265 \times 0.82 \times (11.56 - 1.91)) = 7.57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Con varillas de } \varnothing 1/2 \text{ " tendremos: } 7.57 / 1.27 \approx 6 \varnothing$$

$$\text{Separación de las varillas} = 100\text{cm} / 6 \varnothing \approx 17 \text{ cm}$$

Armado: 6 $\varnothing 3/4$ " @ 17 cm que deberán colocarse en una capa interior

Para el cálculo del tanque de aireación y sedimentador, se utilizó el mismo procedimiento que el del tanque mezclador, por lo que a continuación se presentan los resultados.

Tanque de aireación 1

Espesor del muro $d = 17 \text{ cm}$

Para el muro del eje A tramo 1-2 se tiene:

$$M_{\text{máx}} = 7,098.66 \text{ kg.m}$$

$$\text{Acero capa exterior } A_s = 40.25 \text{ cm}^2$$

Armado: 14 $\emptyset 3/4'' @ 8 \text{ cm}$

$$\text{Acero capa interior } A_s = 8.20 \text{ cm}^2$$

Armado: 7 $\emptyset 1/2'' @ 14.28 \text{ cm}$

Para el muro del eje 1 tramo A-B tiene:

$$M_{\text{máx}} = 3,275.33 \text{ kg.m}$$

$$\text{Acero capa exterior } A_s = 18.57 \text{ cm}^2$$

Armado: 10 $\emptyset 5/8'' @ 10 \text{ cm}$

$$\text{Acero capa interior } A_s = 8.03 \text{ cm}^2$$

Armado: 7 $\emptyset 1/2'' @ 14.28 \text{ cm}$

La losa de cimentación quedó de la siguiente manera:

$$M_{\text{máx}} = 7,098.66 \text{ kg.m}$$

$$d = 17 \text{ cm}$$

$$\text{Acero capa superior } A_s = 40.25 \text{ cm}^2$$

Armado: 14 $\emptyset 3/4'' @ 7.14 \text{ cm}$

$$\text{Acero capa inferior } A_s = 20.92 \text{ cm}^2$$

Armado: 11 $\emptyset 5/8'' @ 9 \text{ cm}$

Tanque de aireación 2

$$d = 17 \text{ cm}$$

El muro del eje B y C tramo 1-2 es igual al muro del eje A tramo 1-2.

Para el muro del eje 1 tramo B-C se tiene:

$$M = 1,283.61 \text{ kg.m}$$

$$\text{Capa exterior } A_s = 7.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armado: } 6\text{Ø}1/2'' @ 16.6 \text{ cm}$$

$$\text{Capa interior } A_s = 2.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armado: } 4\text{Ø}5/8'' @ 25 \text{ cm}$$

La losa de cimentación del tanque 2:

$$M_{\text{máx}} = 7,098.66 \text{ kg.m}$$

$$d = 17 \text{ cm}$$

$$\text{Capa superior } A_s = 40.25 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armado: } 14\text{Ø}3/4'' @ 7.14 \text{ cm}$$

$$\text{Capa inferior } A_s = 2.61 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armado: } 4\text{Ø}3/8'' @ 25 \text{ cm}$$

Volados

Los andadores se calcularon como una viga en voladizo, donde su momento máximo esta dado por $M_{\text{máx}} = wl^2 / 2$. (Fig. 34, anexos)

Los datos obtenidos fueron :

$$d = 2.35 \text{ cm}$$

$$W_{\text{total}} = (530 \text{ kg/m}^2) (0.80) = 424 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Capa superior } A_s = 4.36 \text{ cm}^2$$

$$M_{\text{máx}} = 135.68 \text{ kg.m}$$

$$\text{Armado: } 7\text{Ø}1/2'' @ 14.28 \text{ cm}$$

$$\text{Capa inferior } A_s = 2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armado: } 3\text{Ø}3/8'' @ 33 \text{ cm}$$

Tanque sedimentador

Los muros de este tanque se propusieron de 15 cm de espesor, a continuación se presentan los resultados del cálculo.

$$M_{\text{máx}} = 1,829.33 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$d = 8.64 \text{ cm}$$

Muro del eje A tramo 1-2

$$A_s = 20.41 \text{ cm}^2$$

Armado: 11 Ø5/8" @ 9 cm

$$\text{Capa exterior } A_s = 2 \text{ cm}^2$$

Armado: 11 Ø5/8" @ 9 cm

Muro del eje 1 tramo A-B

$$\text{Capa exterior } A_s = 17.94 \text{ cm}^2$$

Armado: 9 Ø5/8" @ 11 cm

$$\text{Capa interior } A_s = 15.75 \text{ cm}^2$$

Armado: 8 Ø5/8 @ 12.5 cm

La losa de cimentación

$$M_{\text{máx}} = 1,829.33 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$d = 8.64 \text{ cm}$$

$$\text{Capa superior } A_s = 20.41 \text{ cm}^2$$

Armado: 11 Ø5/8" @ 9 cm

$$\text{Capa inferior } A_s = 15.75 \text{ cm}^2$$

Armado: 8 Ø5/8" @ 12.5 cm

Para el pasillo se obtuvo (Viga en voladizo, Fig. 34, anexos)

$$M_{\text{máx}} = 610.56 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$d = 4.99 \text{ cm}$$

$$\text{Capa inferior } A_s = 11.77 \text{ cm}^2$$

Armado: 10 Ø3/8" @ 10 cm

$$\text{Capa superior } A_s = 2 \text{ cm}^2$$

Armado: 3 Ø3/8" @ 33 cm

Cuarto de análisis

Datos

$F'_c = 250 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo máximo de resistencia del concreto

$F_c = 113 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo elástico de resistencia del concreto

$F_y = 2530 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo máximo de resistencia del acero

$F_s = 1265 \text{ k/cm}^2$ Esfuerzo elástico de resistencia del acero

E_s = Módulo de elasticidad del acero

$E_s = 2,000,000 \text{ kg/cm}^2$

E_c = Módulo de elasticidad del concreto

$E_s = 10,000 f'_c = 10,000 \cdot 250 = 158,114 \text{ kg/cm}^2$

Cálculo de la losa

Cargas	Volumen	Peso en kg
Losa de concreto armado	3.15 m x 4.15 m x 0.10 m x 2400 kg/m ³	3,137.4
Carga muerta	3.15 m x 4.15 m x 20 kg/m ²	261.45
Carga viva	3.15 m x 4.15 m x 20 kg/m ²	261.45
Carga viva transitoria	3.15 m x 4.15 m x 200 kg/m ²	2614.5
	Peso total	6,274.8 kg

La carga por metro cuadrado (w) será de: $6,274.8 \text{ kg} / (3.15 \text{ m} \times 4.15 \text{ m}) = 480 \text{ kg/m}^2$

$M_1 = 699 \text{ kg.m}$

$M_2 = 397 \text{ kg.m}$

$d = 5.30 \text{ cm}$

Acero en parrilla superior

Lecho inferior parrilla superior $A_s = 12.53 \text{ cm}^2$

Armado: $\varnothing 1/2'' @ 10 \text{ cm}$

Lecho superior parrilla superior $A_s = 9.49 \text{ cm}^2$

Armado: $\varnothing 1/2'' @ 12.5 \text{ cm}$

Acero en parrilla inferior

$M_1 = 345 \text{ kg.m}$

$M_2 = 199 \text{ kg.m}$

Lecho inferior parrilla inferior $A_s = 6.26 \text{ cm}^2$

Armado: $\varnothing 3/8'' @ 11 \text{ cm}$

Lecho superior parrilla inferior $A_s = 4.39 \text{ cm}^2$

Armado: $\varnothing 3/8'' @ 14 \text{ cm}$

Diseño de la Cc₁

Cargas	Volumen	Peso en kg
Peso de la viga 15 x 30	0.15 m x 0.30 m x 4.15 m x 2400 kg/m ³	448.2
Zona tributaria	5.87 m ² m x 480 kg/m ²	2,817.6
Carga muerta	0.15 m x 4.15 m x 20 kg/m ²	12.45
	Peso total (W)	3,278.25

La carga por metro cuadrado (w) será de: 3,278.25 kg/ (4.15 m)=
790 kg.m

Carga uniformemente distribuida de la viga doblemente empotrada

Determinación de los **momentos de flexión**:

$M_1 = -wl^2/12$ momento flexionante en los apoyos

$M_{m\acute{a}x} = wl^2/24$ momento flexionante al centro de la viga

$M_1 = (790 \text{ kg.m} \times 4.15^2) / 12 = \mathbf{1,133.81 \text{ kg.m}}$

$M_{m\acute{a}x} = (790 \text{ kg.m} \times 4.15^2) / 24 = 566.90 \text{ kg.m}$

Peralte efectivo

$d = (M / Qb) ,$

$d = 113,381 / (24.5 \times 15) = \mathbf{17.56 \text{ cm}}$

Calculando el **área de acero**

$A_s = M / f_s j d$

$A_s = 113,381 / (1265 \times 0.82 \times 30) = \mathbf{3.64 \text{ cm}^2}$

Armado: 2 Ø5/8" en una capa del lecho superior

$A_s = 56,690 / (1265 \times 0.82 \times 30) = \mathbf{1.82 \text{ cm}^2}$

Armado: 2 Ø1/2" en una capa del lecho inferior

Revisión a **cortante**

$V = wl/2 = (790 \text{ kg.m}) (4.15) / 2 = 1,639 \text{ kg}$

El esfuerzo que se aplica es:

$\sigma = V/bd = 1639 \text{ kg} / (15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}) = \mathbf{3.64 \text{ kg/cm}^2}$

El concreto resiste un esfuerzo de

$\sigma_c = 0.5 f'c , \sigma_c = 0.5 \times 250 = \mathbf{7.90 \text{ kg/cm}^2}$

El concreto no falla a cortante, $7.90 \text{ kg/cm}^2 > 3.64 \text{ kg/cm}^2$, por lo tanto solo se diseñaran estribos por reglamento.

La separación de los estribos según el reglamento es:

$0.5 d (1 + \cot 90^\circ) = 0.5 \times 30 (1 + \cot 90^\circ) = 15 \text{ cm}$, colocando el primero a 6 cm del paño de apoyo.

Diseño de K_1

Se propone un castillo K_1 de 15 x 15

Cargas	Volumen	Peso en kg
Zona tributaria	1.58 m x 2.075 m x 480 kg/m ²	1,573.68
Peso de la viga 15 x 30	0.15 m x 0.30 m x 2.075 m x 2400 kg/m ³	224.1
Peso de K_1 15 x 15	0.15 m x 0.15 m x 2.85 m x 2400 kg/m ³	153.9
	Peso total (W)	1,951.68

El K_1 se propone con 4 varillas de 3/8

Área de acero

$$A_s = 4 \times 0.71 \text{ cm}^2 = 2.84 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área de concreto} = (0.15 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}) - 2.84 \text{ cm}^2 = 222.16 \text{ cm}^2$$

δ_s = Deformación del Acero

δ_c = Deformación del concreto

σ = esfuerzo que resiste el material

$$\sigma = P / A$$

P = carga axial o esfuerzo cortante

A = área de la sección

Partiendo del principio de que ambos materiales tienen la misma deformación:

$$\delta = PL / AE \quad \text{Ley de Hooke}$$

$$\delta_s = \delta_c$$

$$(\sigma_c \times L_c / E_c) = (\sigma_s \times L_s / E_s), \text{ despejando } \sigma_c \text{ se tiene: } \sigma_c = (\sigma_s \times E_c) / E_s$$

$$\sigma_c = (1265 \text{ kg/cm}^2 \times 158,114 \text{ kg/cm}^2) / 2,000,000 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$100 \text{ kg/cm}^2 < 113 \text{ k/cm}^2$ (f_c del concreto), por lo tanto, la resistencia propuesta es la correcta.

Calculando la fuerza axial $\sigma = P/A$, despejando P , se tiene: $P = \sigma \times A$

Si la fuerza que deberá resistir el castillo K_1 la absorben ambos materiales (concreto y acero), entonces tenemos:

$$P = P_s + P_c, \text{ de donde } P = (\sigma_s A_s) + (\sigma_c A_c)$$

$$P = 1265(2.84) + 100(222.16) = \mathbf{25,808.6 \text{ kg}}$$

Como P (25,808.6 kg) es $>$ que W_{total} (1,951.68 kg), la sección propuesta para el castillo K_1 (15x15) es la adecuada.

Refuerzo transversal (estribos)

El reglamento de Construcción del Distrito Federal, Art. 230-X (Pérez, 1988) dice:

“Aún cuando el cálculo no indique la necesidad de refuerzo transversal, se proveerá este donde se requiera para evitar el pandeo de barras longitudinales y para mantener su posición antes del colado y durante él. El diámetro no será menor que $\frac{1}{4}$ ". La separación de este refuerzo transversal está apegada a la menor distancia de las tres condiciones siguientes:

- a) 20 veces el diámetro de la barra más delgada a la que restringe.
- b) 48 veces el diámetro del estribo
- c) Lado menor de la columna "

Bajo estas circunstancias tenemos lo siguiente:

$$K_1 = 15 \times 15$$

Para la primera condición tenemos:
 $20 \times 0.95 \text{ cm} = 19 \text{ cms}$

Para la segunda condición tenemos:
 $48 \times 0.64 \text{ cm} = 30 \text{ cms}$

Para la tercera condición tenemos:
Lado menor de la columna = 15 cm

Por lo tanto, la separación de los estribos será a cada 15 cms, colocando el primero a 6 cm de los empotramientos.

Cuarto de máquinas

Resultados del cálculo de la losa

$$w = 480 \text{ kg/m}^2$$

$$M_1 = 722.5 \text{ kg.m}$$

$$M_2 = 155.23 \text{ kg.m}$$

$$d = 5.43 \text{ cm}$$

Acero en parrilla superiorLecho inferior parrilla superior $A_s = 12.82 \text{ cm}^2$ **Armado:** $\varnothing 1/2'' @ 10 \text{ cm}$ Lecho superior parrilla superior $A_s = 3.59 \text{ cm}^2$ **Armado:** $\varnothing 3/8'' @ 20 \text{ cm}$ **Acero en parrilla inferior**

$$M_1 = 362 \text{ kg.m}$$

$$M_2 = 77.61 \text{ kg.m}$$

Lecho inferior parrilla inferior $A_s = 6.41 \text{ cm}^2$ **Armado:** $\varnothing 3/8'' @ 10 \text{ cm}$ Lecho superior parrilla inferior $A_s = 1.67 \text{ cm}^2$ **Armado:** $\varnothing 3/8'' @ 30 \text{ cm}$ **Diseño de la Cc_2**

Cargas	Volumen	Peso en kg
Peso de la viga 15 x 25	0.15 m x 0.25 m x 4.25 m x 2400 kg/m ³	382.5
Zona tributaria	4.77 m ² m x 480 kg/m ²	2,289.6
Carga muerta	0.15 m x 4.25 m x 20 kg/m ²	12.75
	Peso total (W)	2,684.85

La carga por metro cuadrado (w) será de: $2,684.85 \text{ kg} / (4.25 \text{ m}) =$
632 kg.m

Determinación de los **momentos de flexión**:

$$M_1 = -wl^2/12 \text{ momento flexionante en los apoyos}$$

$$M_{m\acute{a}x} = wl^2/24 \text{ momento flexionante al centro de la viga}$$

$$M_1 = (632 \text{ kg/m} \times 4.25^2) / 12 = 951.29 \text{ kg.m}$$

$$M_{m\acute{a}x} = (632 \text{ kg/m} \times 4.25^2) / 24 = 475.64 \text{ kg.m}$$

Peralte efectivo

$$d = \sqrt{(M / Qb)}$$

$$d = \sqrt{(95,129) / (24.5 \times 15)} = 16.1 \text{ cm}$$

Calculando el **área de acero**

$$A_s = M / f_s j d$$

$$A_s = 95,129 / (1265 \times 0.82 \times 25) = \mathbf{3.67 \text{ cm}^2}$$

Armado: 2 Ø5/8" en una capa del lecho superior

$$A_s = 47,564 / (1265 \times 0.82 \times 25) = \mathbf{1.83 \text{ cm}^2}$$

Armado: 2 Ø1/2" en una capa del lecho inferior

Revisión a cortante

$$V = wl/2 = (632 \text{ kg/m}) (4.25\text{m}) / 2 = 1,343 \text{ kg}$$

El esfuerzo que se aplica es:

$$= V/bd = 1343 \text{ kg} / (15 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}) = \mathbf{3.58 \text{ kg/cm}^2}$$

El concreto resiste un esfuerzo de

$$c = 0.5 f'c, c = 0.5 \times 250 = \mathbf{7.90 \text{ kg/cm}^2}$$

El concreto no falla a cortante, $7.90 \text{ kg/cm}^2 > 3.58 \text{ kg/cm}^2$, por lo tanto solo se diseñaran estribos por reglamento. (Perez, 1988)

La separación de los estribos según el reglamento es:

$0.5 d (1 + \cot 90^\circ) = 0.5 \times 25 (1 + \cot 90^\circ) = \mathbf{12.5 \text{ cm}}$, colocando el primero a 6 cm del paño de apoyo.

Diseño de K_2

Se propone un castillo K_2 de 15 x 15, con las mismas características de K_1 .

Peso total que debe resistir el K_2

Cargas	Volumen	Peso en kg
Zona tributaria	4.77 m ² x 480 kg/m ²	2,289.6
Peso de la viga 15 x 25	0.15 m x 0.25 m x 3.65 m x 2400 kg/m ³	328.5
Peso de K_1 15 x 15	0.15 m x 0.15 m x 2.70 m x 2400 kg/m ³	145.8
	Peso total (W)	2,763.9

En el análisis realizado para el K_1 , se dedujo que la fuerza P que soportan ambos materiales (acero y concreto) es de **25,808.6 kg**. Como P es > que W_{total} que debe resistir el K_2 (2,763.9 kg), la sección propuesta para el castillo K_2 (15x15) es la adecuada.

El acero de refuerzo de K_2 es igual que el de K_1 .

4.5 Planos constructivos

Arquitectónicos

- 3.- Plano de conjunto
- 4.- Tanque mezclador
- 5.- Tanque de aireación
- 6.- Tanque sedimentador
- 7.- Cuarto de análisis
- 8.- Cuarto de máquinas
- 9.- Detalles

Estructurales

- 10.- Tanque mezclador
- 11.- Tanque de aireación
- 12.- Tanque sedimentador
- 13.- Cuarto de análisis y de máquinas

Instalaciones

- 14.- Hidrosanitaria
- 15.- Eléctrica
- 16.- Eléctrica (2)
- 17.- Aire

Herrería

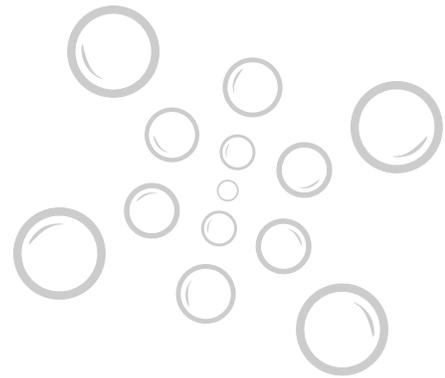
- 18.- Tanque mezclador y sedimentador
- 19.- Tanque de aireación
- 20.- Cuarto de análisis y rejillas

Acabados

- 21.- Tanque mezclador, de aireación, sedimentador, cuarto de análisis y de máquinas

PLANOS CONSTRUCTIVOS
VER ARCHIVOS ADJUNTOS

CONCLUSIONES GENERALES



Para evaluar el desarrollo de este proyecto de tesis, es necesario retomar los objetivos planteados en el primer capítulo:

Objetivo general

“Desarrollar el diseño espacial y estructural de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Tecnológica de la Mixteca”

Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento topográfico del área destinada para la PTAR
- Aprovechar las pendientes naturales del terreno para determinar la ubicación de los espacios de la PTAR.
- Realizar los planos constructivos para la ejecución de PTAR.

Conclusiones

El levantamiento topográfico que se realizó con GPS fue de gran utilidad para calcular el área disponible y los niveles del terreno.

Se comprobó que existen las pendientes necesarias para conducir el efluente por gravedad y evitar el uso permanente de bombas. De esta manera se reducirá el consumo de energía eléctrica y por consecuencia los costos de operación.

Los espacios proyectados responden a las exigencias de funcionalidad, porque se consideraron todos los requerimientos de diseño y porque se aplicaron medidas antropométricas a pasillos, andadores, escaleras y mesas de trabajo. Además, para proporcionar seguridad y confianza en las actividades de mantenimiento y monitoreo, se diseñaron barandales de protección para los tanques de tratamiento.

Para el acceso principal a la PTAR, se propone utilizar el pasillo del edificio de aulas de dos niveles, optimizando de esta manera los espacios disponibles.

El cálculo estructural de los elementos de concreto, se llevó a cabo utilizando la teoría elástica del concreto armado (Pérez, 1988).

Para que la PTAR se integre visualmente al conjunto de edificios se propone utilizar acabados y colores similares de las construcciones vecinas, y para transmitir una imagen agradable, se propone crear áreas verdes con cactáceas y pasto vetiver, la primeras porque abundan en la zona y el segundo porque puede formar una barrera natural que evite la erosión del suelo.

Como resultado de la investigación de este trabajo de tesis, se presentan los planos arquitectónicos, estructurales, de instalaciones, de herrería y acabados, los cuales servirán para la ejecución de la obra.

El presente trabajo "Diseño Espacial y Estructural de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Universidad Tecnológica de la Mixteca" fue parte fundamental para concluir el proyecto titulado "Sistema Biológico de Tratamiento y Rehúso de las Aguas Residuales Generadas en la UTM", presentado ante la Secretaría de Educación Pública Federal, quien autorizó el recurso económico para su construcción.

La PTAR tiene un impacto en beneficio del aspecto ambiental, funcional y económico, así mismo, servirá de modelo para la construcción de plantas de tratamiento de entidades o instituciones que cuenten con influentes de características similares a los de la UTM.

Por todo lo anterior se concluye que el objetivo general y objetivos específicos, fueron cubiertos satisfactoriamente con el desarrollo de este trabajo de tesis.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Biodigestor: Depósito completamente cerrado que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como Bio gas o gas Metano (CH_4) y Dióxido de Carbono (CO_2), además de un efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

Cargas muertas: Peso de todos los elementos constructivos de los acabados y los elementos que ocupan una posición permanente y que tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo. (Art.228. Reglamento de construcción y Seguridad Estructural para el Edo. de Oaxaca)

Cargas vivas: Se consideran como cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso u ocupación de las construcciones y que no tienen carácter permanente, a menos que se justifiquen racionalmente otros valores, estas cargas se tomarán iguales a las especificadas en la tabla correspondiente a este artículo. (Art.229. Reglamento de construcción y Seguridad Estructural para el Edo. de Oaxaca:

Cargas vivas transitorias: Durante el proceso de construcción deberán considerarse las cargas vivas transitorias que puedan producirse; estas incluirán el peso de los materiales que se almacenen temporalmente, el de los vehículos y equipo, el de colado de plantas superiores que se apoyen en la planta que se analiza y el de personal necesario, no siendo este último peso menor que 150 kg/m^2 . Además de una concentración de 150 kg en el lugar más desfavorable.(Art.230. Reglamento de construcción y Seguridad Estructural para el Edo. de Oaxaca)

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado aplicable a las aguas residuales y superficiales. Esta determinación supone la medida de oxígeno utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica (estabilización biológica) de materia orgánica.

Digestión anaerobia: Es uno de los procesos más utilizados para la estabilización de fangos. En este proceso se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Sus aplicaciones han sido y siguen siendo la estabilización de fangos concentrados producidos en el tratamiento de agua residual y de ciertos residuos industriales.

El tanque donde se lleva a cabo la digestión anaerobia se denomina digestor anaerobio.

Electrodialisis: Proceso en el cual los componentes iónicos de una solución son separados por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones. La aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos causa una corriente eléctrica que atraviesa la solución, la cual, a su vez, origina una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo. Dado el espaciamiento alternado de las membranas permeables a los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

Elutriación: Operación unitaria en la cual se mezcla íntimamente un líquido o mezcla de sólido y líquido con otro líquido con objeto de transferir ciertos componentes desde aquellos a este último.

Fosa séptica: Se utilizan principalmente para el tratamiento de las aguas residuales de viviendas individuales. Aunque a menudo se usan se una sola cámara, el tipo adecuado consiste en dos o más cámaras en serie. En una fosa de doble cámara, el primer compartimento se utiliza para la sedimentación, digestión y almacenamiento del fango. El segundo compartimento proporciona sedimentación y capacidad de almacenamiento del fango adicional, y por lo tanto, sirve para proteger contra la descarga de fango u otro material que pueda escaparse de la primera cámara. Por lo general, el fango deberá extraerse cada dos o tres años. El efluente de las fosas sépticas se evacua normalmente a unos tubos de drenaje enterrados en el subsuelo o a zanjas de filtración para que se infiltre en el subsuelo.

Intercambio iónico: Es un proceso unitario por el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio por iones de una especie en disolución. El uso más extendido de este proceso se da en el ablandamiento del agua doméstica, en que los iones de sodio procedentes de una resina de intercambios catiónicas sustituyen a los iones de magnesio y calcio presentes en el agua, reduciendo por tanto su dureza. Para la reducción de sólidos totales disueltos, deben usarse resinas de intercambio catiónicas y aniónicas.

Osmosis inversa (hiperfiltración): Técnica de desmineralización aplicable a la producción de agua adecuada para la reutilización. Es un proceso en el que el agua se separa de las sales disueltas en solución filtrándola a través de una membrana semipermeable a una

presión mayor que la osmótica acusada por las sales disueltas en el agua residual.

Pozo de absorción: Consiste en excavaciones de más o menos un diámetro y profundidad variable. En estos el agua se infiltra por paredes y piso que deberán ser tomados permeables, se recomienda llenar de grava a la altura aproximada de 1 m para lograr una buena distribución de agua al fondo.

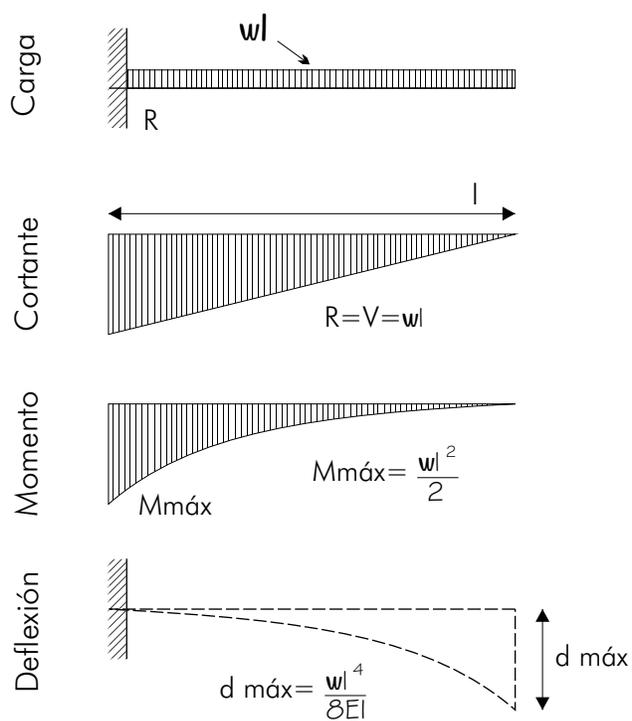
Proceso aerobio: Son los procesos de tratamiento biológico que no se dan en presencia de oxígeno. Aquellas bacterias que pueden sobrevivir únicamente en presencia de oxígeno disuelto se conocen como aerobias obligadas (restringidas a una condición específica de vida).

Proceso anaerobio: Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxígeno. Las bacterias que pueden sobrevivir solamente en ausencia de oxígeno disuelto se conocen como anaerobias obligadas.

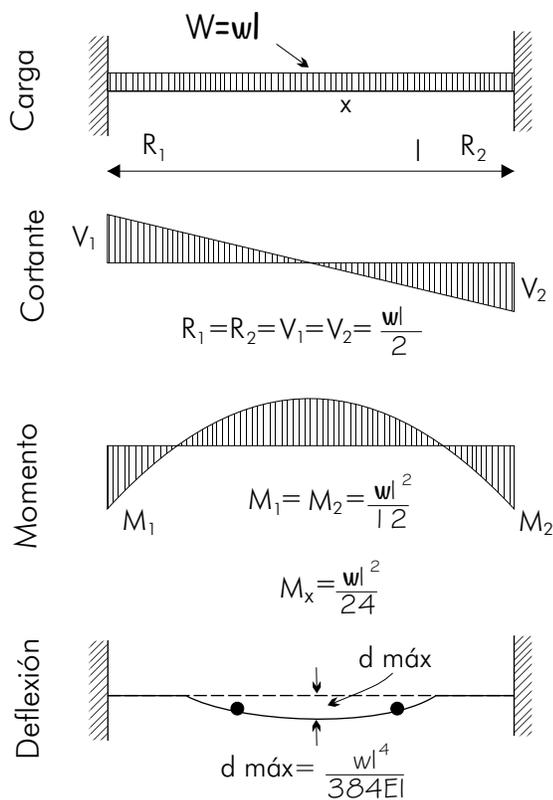
Sólidos disueltos: Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones que se encuentran en disolución verdadera en el agua residual.

Sólidos suspendidos: Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en el agua residual.

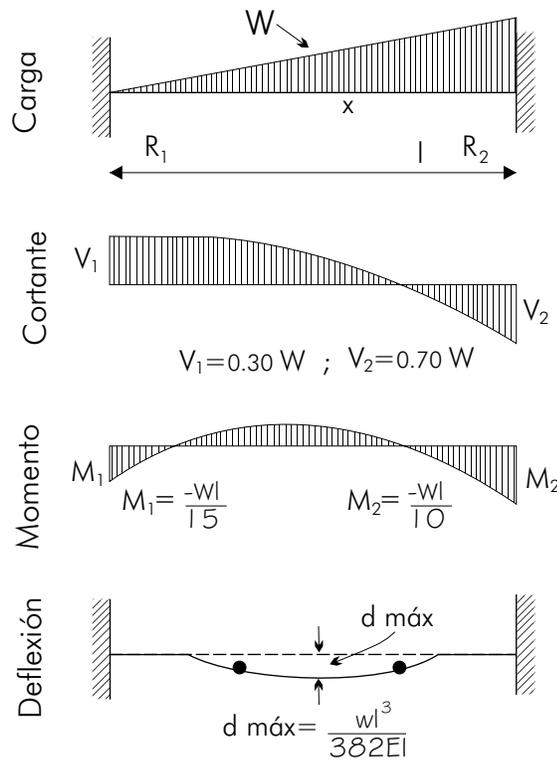
ANEXOS



▲ Fig 34 Viga empotrada en un extremo y libre en el otro, con carga uniformemente distribuida.



▲ Fig 35 Viga empotrada en ambos extremos, con carga uniformemente distribuida.



▲ Fig 36 Viga empotrada en ambos extremos con carga triangular.

CLASIFICACIÓN DEL TERRENO POR SU RESISTENCIA

a) Suaves	Resistencia t/m ²
Terrenos del Valle de México	2 - 5
Terreno de aluvión (depósito arcilloso-arena-lodo)	5 - 10
Tierra firme y seca natural	10
Arcillas blandas (sustancia mineral impermeable y plástica, barro)	10 - 15
Arena limpia y seca en lechos naturales confinados	20
Arcillas medianamente secas en capas gruesas	30
Arena compactada	40
Arena compactada confinada conglutinada	40
Arcillas secas en capas gruesas	40
b) Duros	
Gravas y arenas mezcladas con arcilla seca	40 - 60
Gravas secas sueltas confinadas	60
Gravas o arenas compactas	60 - 100
Esquistos o rocas compactas o conglomerados	80 - 100
Piedra arenisca en lechos compactos	200
Piedra caliza en lechos compactos	250
Roca granítica	300

Nota: Los coeficientes dados son de trabajo.

▲ Tabla 6 Clasificación del terreno por su resistencia
Escuela Mexicana de Arquitectura, La Salle, 1987

CONSTANTES PARA CALCULAR CONCRETO

f_y	f_s	f'_c	n	f_c	k	j	Q ó K
2,530	1,265	150	16	67.50	0.47	0.84	13.60
		200	14	90.00	0.50	0.83	18.70
		250	13	113.00	0.53	0.82	24.50
		300	12	135.00	0.56	0.82	31.00
		350	11	158.00	0.57	0.81	36.50
4,200	2,100	150	16	67.50	0.34	0.88	10.60
		200	14	90.00	0.38	0.87	15.00
		250	13	113.00	0.40	0.87	20.00
		300	12	135.00	0.43	0.85	25.00
		350	11	158.00	0.45	0.85	30.40

▲ Tabla 7 Constantes para calcular concreto, Pérez 1988.

DIMENSIONES Y PESO DEL ACERO DE REFUERZO

Varilla N°.	Diámetro nominal en mm	Área nominal en cm ²	Perímetro nom. en cms	Peso en Kg/m
2 *	6.4 (1/4")	0.32	2.01	0.251
2.5 *	7.9 (5/16")	0.49	2.48	0.384
3	9.5 (3/8")	0.71	2.98	0.557
4	12.7 (1/2")	1.27	3.99	0.996
5	15.9 (5/8")	1.99	5.00	1.560
6	19.1 (3/4")	2.87	6.00	2.250
7	22.2 (7/8")	3.87	6.97	3.034
8	25.4 (1")	5.07	7.98	3.975
9	28.6 (1 1/8")	6.42	8.98	5.033
10	31.8 (1 1/4")	7.94	9.99	6.225
11	34.9 (1 3/8")	9.57	10.96	7.503
12	38.1 (1 1/2")	11.40	11.97	8.938

* Estas barras se fabrican en México exclusivamente en varillas lisas. Su mayor empleo es principalmente para anillos y estribos.

▲ Tabla 8 Dimensiones y peso del acero de refuerzo, Perez 1988.

BIBLIOGRAFÍA

Babbitt, H.E., Baumann, E.R.

Alcantarillado y Tratamiento de aguas negras

Editorial Continental

México, 1983

Centro de Información y Actualización de Conocimientos, A.C. , S.A.

Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales

México

Escuela Mexicana de Arquitectura, Universidad La Salle

Materiales y Procedimientos de Construcción Tomo I

Editorial Diana

México, 1987

Gobierno del Estado de Oaxaca, Periódico Oficial

Reglamento de Construcción y Seguridad Estructural para el Estado de Oaxaca

1998

González, S., F.,

Manual de Supervisión de Obras de Concreto

Segunda Edición

Editorial Limusa

México, 2000

Metcalf & Eddy, . Inc. Ingeniería Sanitaria

Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales

Editorial Labor

España, 1985

Título de la Edición Original:

Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.

Editorial Mac-Graw Hill, Inc. 1979

Miguel., S., A.

Tratado de Construcción Tomo 1

Editorial Continental S. A.

México, 1965

Morales, L. R., Guerrero, H. J., Cisneros, C. C.

Caracterización hidrogeológica de los aluviones de la cuenca alta del río Mixteco, Huajuapán de León, Oaxaca

Reporte de Investigación. Proyecto SIBEJ. Instituto de Hidrología.

UTM. 2001

Pérez, A., V.
"El Concreto Armado en las Estructuras"
Teoría Elástica
Editorial Trillas, Octava Reimpresión
México, 1988

Gobierno del Estado de Oaxaca
Plan de desarrollo urbano de la H. Cd. de Huajuapán de León, Oax.
H. Ayuntamiento de Huajuapán de León, Oax., 1998.

Plazola Cisneros, Alfredo
Plazola Anguiano Alfredo
Plazola Anguiano Guillermo.
Arquitectura Habitacional Tomo II
Plazola Editores/Limusa
México, 1992

Schulz & Okun
"Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo"
Editorial Limusa, 1ª Reimpresión
México, 1998

Sistema de Posicionamiento Global
<http://es.wikipedia.org/wiki/GPS>

Tratamiento de aguas residuales
http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/Infraestructura_Amb/cap_2-infra.PDF

COMENTARIOS DEL AUTOR

Cuando egresé de la universidad, pensé que estaba preparado para resolver cualquier problema de diseño gráfico, industrial ó arquitectónico, sin embargo, la experiencia en el trabajo me ha permitido complementar mi formación académica y adquirir nuevos conocimientos.

Cuando se presento la oportunidad de construir la PTAR sentí incertidumbre por ser un proyecto inusual, pero al final resulto muy interesante, porque se conjugaron aspectos industriales, arquitectónicos y de ingeniería.

El hecho de haber construido una PTAR me permitió aplicar conocimientos de arquitectura e ingeniería civil, conocer el tratamiento de las aguas residuales por el sistema de lodos activados y por último, encontrar un área más de aplicación para la Ingeniería en Diseño.

Diseñar y construir espacios me agrada bastante, sin embargo, el procedimiento del colado de los tanques de tratamiento presentó ciertas dificultades por resolver, como el vertido y vibrado del concreto en los muros y losa de cimentación, para obtener elementos monolíticos, evitar juntas frías y filtraciones de agua.

Respecto a los costos de construcción de la PTAR, se puede decir que aumentaron un 12% en relación a lo planeado, porque se compró un cable de mayor calibre para evitar caídas de voltaje en el suministro de energía eléctrica, se incrementó el precio de algunos materiales y porque se realizó obra exterior adicional.

Como las descargas de la planta serán vertidas al suelo y probablemente se filtren hacia algunos cuerpos receptores de agua, fue necesario solicitar la respectiva autorización en materia de Impacto Ambiental a la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y además porque lo establece el artículo 5, inciso A), fracción VI, del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que dice:

Artículo 5o.- Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

A) *HIDRÁULICAS:*

VI. Plantas para el tratamiento de aguas residuales que descarguen líquidos o lodos en cuerpos receptores que constituyan bienes nacionales.

Cabe señalar, que por la formación de Ingeniero en Diseño, este proyecto se enfocó solamente al diseño espacial y estructural de la PTAR. La información sobre el tratamiento de aguas residuales que se presenta en el trabajo de tesis, está de acuerdo a la investigación realizada por los Profesores Investigadores del Instituto de Agroindustrias e Hidrología de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Recomendaciones

A través de una investigación de campo, se determinó que el fracaso de muchas plantas de tratamiento de aguas residuales se debe a la falta de mantenimiento de sus instalaciones y al inapropiado seguimiento del proceso de operación. Por lo tanto, para que la PTAR funcione adecuadamente, es necesario contratar una persona capacitada para que realice el mantenimiento y monitoreo de las instalaciones permanentemente. Así mismo, periódicamente se deberá analizar el agua tratada para mantener la eficiencia del proceso de tratamiento.

Para evitar confusiones en el cuarto de control, se recomienda tener una nomenclatura o simbología que identifique a cada elemento de la PTAR.

Costos de operación

Para estimar los costos mensuales de operación de la PTAR, de manera general se mencionan lo siguientes gastos:

Equipo eléctrico	Hp	Fases	Voltaje	Corriente/ amperes	Tiempo de operación/ h	kw	kwh
Compresor TM	4	3	220	9	24	3.09	74.16
Compresor TA	3	3	220	12.8	24	4.39	105.36
Dosificador de cloro		1	127	1.2	8	0.14	1.12
Electrobomba	1/2	3	220	2.1	8	0.72	5.76
Alumbrado y contactos		1	127	127	2	1.71	3.42
consumo total de energía						10.05	189.82
Costo por Kw de demanda = \$ 117.00				Cargo por energía mensual (0.85 x 189.82 x 30) = \$ 4,840.40			
Costo por Kwh de demanda = \$ 0.85				Cargo por demanda mensual (117 x 10.05) = \$ 1,175.85			
						Subtotal = \$ 6,016.26	
						iva = \$ 902.44	
						Total = \$ 6,918.70	

▲ Tabla 9 Consumo eléctrico

Para el cálculo de costos de operación, no se considera el salario del encargado de la PTAR ni de las personas que realizarán los análisis del agua, porque se ocupará personal adscrito a la Universidad.

Consumo de energía eléctrica	6,918.70
Reactivos y material de mantenimiento	250.00
Personal	0.00
Total	7,168.70

Tabla 10 Gastos generales de la PTAR ▲

Si se pretende obtener aproximadamente 40 m³ diarios de agua tratada, nos resulta que el precio por cada m³ es de \$ 8.96 pesos. Ahora bien, el personal de jardinería para realizar sus actividades utiliza 9 pipas de 10, 000 litros por semana, lo que arroja un costo mensual de \$ 9,000.00.

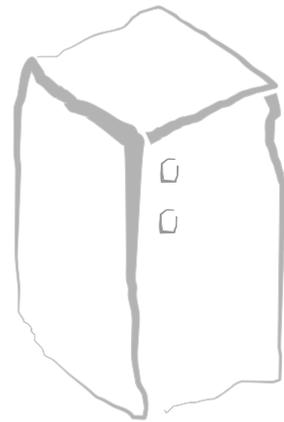
Comparando el costo anterior con el costo de operación de la planta de tratamiento, obtenemos un ahorro de aproximadamente \$ 1,800.00 pesos mensuales. Aunado a esto se puede decir que con la PTAR se obtendrá el doble del agua que se utiliza mensualmente para jardinería.

Trabajos futuros

Como se mencionó al inicio de este trabajo, el agua tratada que se obtenga de la planta se utilizará para el riego de jardines de la universidad. Se comenzará con las zonas más cercanas a la PTAR y posteriormente se ha proyectado bombear el agua tratada a un tanque de almacenamiento en la parte más alta de la Universidad (cerca del helipuerto), con la finalidad de distribuir el agua por gravedad a todas las áreas de jardines. Para este proyecto será necesario calcular el tanque de almacenamiento, trazar la línea de conducción, obtener el perfil del terreno, determinar de la capacidad de la bomba y el diámetro de la tubería.

Con el objetivo de aumentar la eficiencia de la PTAR, es interesante pensar en la programación de los procesos de tratamiento para obtener una planta de tratamiento de aguas residuales automatizada.

PROCESO CONSTRUCTIVO



Cimentación de los tanques



▲ Fig. 37 Desbaste de roca con martillo neumático, tanque mezclador



▲ Fig. 38 Barrenos tanque mezclador.



▲ Fig. 39 Contratraves y barrenos, tanque de aireación



▲ Fig. 40 Plantilla del tanque de aireación

Estructura y cimbra

▼ Fig. 41 Cimbra del tanque mezclador



Fig. 42 Acero en el tanque mezclador ▶



▲ Fig.43 Acero y cimbra del tanque de aireación



▲ Fig. 44 Acero en el tanque sedimentador

Albañilería y acabados



▲ Fig. 45 Cuarto de análisis



▲ Fig. 46 Tanques de secado de lodos y bases para tanques de cloración



▲ Fig. 47 Impermeabilización al interior de los tanques



▲ Fig. 48 Impermeabilización de losas de azotea

Instalaciones sanitarias



▲ Fig.49 Válvula de mariposa de 4",FoFo



▲ Fig. 50 Válvula de compuerta de 4", FoFo



▲ Fig. 51 Secado de lodos y tanques de cloración

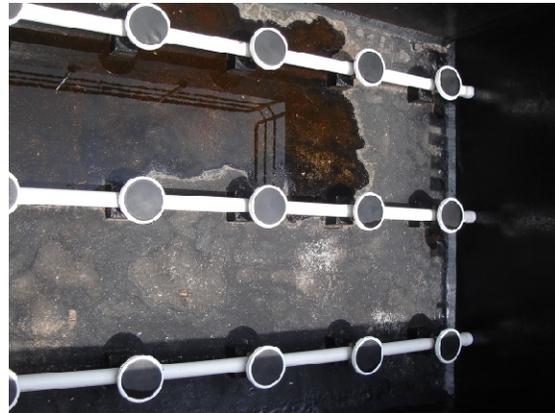


▲ Fig. 52 Registro de aguas negras y tubería de pvc hidráulico de 6 y 4"

Instalación eléctrica y de aire



▲ Fig. 53 Interruptores y control general, cuarto de máquinas



▲ Fig. 54 Difusores de aire, instalados en el tanque mezclador y de aireación

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



▲ Fig.55 Sistema de rejillas



▲ Fig. 56 Tanque mezclador



▲ Fig. 57 Tanque de aireación



▲ Fig. 58 Tanque sedimentador



▲ Fig. 59 Cuarto de máquinas



▲ Fig. 60 Cuarto de análisis



▲ Fig.61 Áreas verdes en la PTAR



▲ Fig. 62 Barreras naturales con pasto vetiver



▲ Fig. 63 Vista posterior de la PTAR



▲ Fig. 64 Vista panorámica de la PTAR, UTM