



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE
OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA
ESCUELA POLITÉCNICA**

Julio Guillermo García Peña
Asesorado por el Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

Guatemala, julio de 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE
OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA
ESCUELA POLITÉCNICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JULIO GUILLERMO GARCÍA PEÑA

ASESORADO POR EL ING. PEDRO CIPRIANO SARAVIA CELIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2008.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderon
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. René Rolando Vargas Oliva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE
OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA
ESCUELA POLITÉCNICA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 15 de octubre de 2003.



Julio Guillermo García Peña

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 17 de junio de 2008

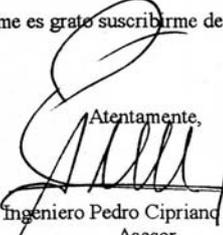
Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar
Coordinador del área de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Aguilar:

De conformidad con la designación de que fui objeto para asesorar el trabajo de graduación profesional del estudiante Julio Guillermo García Peña, titulado: **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA ESCUELA POLITÉCNICA**, que le fue asignado en su oportunidad, tengo el deber de informar a usted lo siguiente:

Se discutió y revisó el plan de trabajo, así como el contenido de cada uno de los temas desarrollados; habiendo encontrado satisfactoria la forma en que se enfocó el tema, su alcance y contenido. Por lo que, me permito recomendar que el mencionado trabajo, sea aceptado para el Examen General Público, previo a optar al título de **INGENIERO CIVIL**.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted,

Atentamente,

Ingeniero Pedro Cipriano Saravia
Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 3 de julio de 2008

Ing. Fernando Amilcar Boston Velásquez
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero:

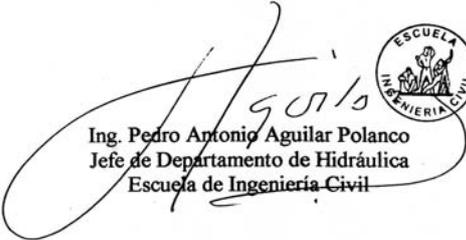
Atentamente y por este medio, envío a usted el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante JULIO GUILLERMO GARCÍA PEÑA, con el título "EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA ESCUELA POLITÉCNICA".

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la APROBACIÓN DEL MISMO, por parte del asesor Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por APROBADO; solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe de Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

cc. Archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Julio Guillermo García Peña, titulado **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA ESCUELA POLITÉCNICA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, julio 2008.

/bbdeb.

/ Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 243.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA ESCUELA POLITÉCNICA**, presentado por el estudiante universitario **Julio Guillermo García Peña**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, julio de 2008



/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

Dios, por permitirme con paciencia y dedicación
terminar este trabajo.

Los Ingenieros

Ing. Julio Guillermo García Ovalle

Ing. Rodolfo González Morasso

Ing. Pedro Saravia Celis

Por su apoyo y valiosa asesoría en el desarrollo del
presente trabajo.

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)

Cuerpo de Ingenieros del Ejército

Topógrafo Emilio Cruz y Cruz

Cadenero Cervelio Pérez Mateo

Soldado Ronaldo Álvarez Andrés

Personal de la Escuela Politécnica

Soldado Romualdo Jerónimo Ixtecoc

Soldado Ramiro Álvarez González

Especialistas del Ejército de Guatemala

Encargado de Mantenimiento Antonio Pérez

Fontanero Manuel Equite

Comisión Nacional para la Reducción de Desastres

ACTO QUE DEDICO A:

LA VIRGEN MARÍA	Por su ejemplo de amor y servicio a los demás.
MIS PADRES	Julio Guillermo García Ovalle Elvira Amabilia Peña Ogaldez Por todo su amor y comprensión.
MIS HERMANOS	Fabiola, Mario y Juan José Por su apoyo y cariño
MIS FAMILIARES Y AMIGOS	Por el apoyo que he recibido de todos ustedes para finalizar este trabajo.
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	Por el privilegio de recibir los conocimientos académicos de la carrera de Ingeniería Civil.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	
1.1 Conceptos generales	1
1.1.1 Definición de laguna de estabilización.....	1
1.1.2 Objetivos de las lagunas de estabilización	2
1.1.3 Factores que influyen en las lagunas	2
1.2 Características de las aguas residuales.....	3
1.2.1 Características físicas	3
1.2.2 Características químicas	4
1.2.3 Características biológicas	4
1.3 Clasificación de lagunas.....	5
1.3.1 Según su función microbiológica	5
1.3.1.1 Lagunas aerobias	5
1.3.1.2 Lagunas anaerobias	6
1.3.1.3 Lagunas facultativas.....	7
1.3.1.4 Lagunas aireadas	8
1.3.2 Según su distribución física	8
1.3.2.1 Lagunas en serie	9
1.3.2.2 Lagunas en paralelo	9

2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR Y DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

2.1	Características de la Escuela Politécnica	11
2.1.1	Localización y vías de acceso	11
2.1.2	Clima, temperatura y humedad.....	12
2.1.3	Descripción hidrográfica.....	12
2.1.4	Uso de la tierra.....	12
2.1.5	Población de la Escuela Politécnica.....	12
2.2	Características de las instalaciones.....	13
2.2.1	Sistema de abastecimiento de agua potable	13
2.2.1.1	Consumo de agua potable	15
2.2.2	Sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.....	16
2.2.2.1	Red de alcantarillado.....	16
2.2.2.2	Tratamiento de las aguas residuales.....	18
2.2.2.3	Descarga al cuerpo receptor	18
2.3	Características de la laguna.....	19
2.3.1	Descripción de la laguna.....	19
2.3.2	Pretratamiento de las aguas residuales.....	19
2.3.3	Estructura de entrada a la laguna	20
2.3.4	Diques.....	20
2.3.5	Protección de taludes	20
2.3.6	Estructura de salida de la laguna.....	20
2.4	Dimensiones de la laguna.....	21

3.	PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	
3.1	Condiciones de la red de alcantarillado	23
3.1.1.	Acometidas y cajas de registro.....	23
3.1.2	Pozos de visita	24
3.1.3	Tubería del sistema de alcantarillado.....	25
3.2	Condiciones de la laguna de estabilización.....	25
3.2.1	Trampa de grasas.....	26
3.2.2	Medición de caudal.....	27
3.2.3	Estructura de entrada a la laguna.....	27
3.2.4	Estado actual de los taludes de los diques.....	27
3.2.5	Vegetación.....	27
3.2.6	Algas.....	29
3.2.7	Altura de lodos.....	29
3.2.8	Fauna	30
3.2.9	Estructura de salida de la laguna	30
3.3	Condiciones de la descarga al cuerpo receptor.....	31
4.	MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	
4.1	Medidas de corrección a la red de alcantarillado	33
4.1.1	Acometidas y caja de registro.....	33
4.1.2	Pozos de visita.....	34
4.1.3	Tubería del sistema de alcantarillado	34
4.2	Medidas de corrección a la laguna de estabilización	35
4.2.1	Estructuras de pretratamiento.....	35
4.2.2	Estructura de aforo en la entrada a la laguna	36

4.2.3	Estructura de entrada a la laguna.....	36
4.2.4	Protección de taludes	37
4.2.4.1	Vegetación.....	37
4.2.4.2	Materiales de construcción	37
4.2.5	Estructura de salida de la laguna	38
4.2.6	Estructura de aforo en la salida de la laguna.....	38
4.3	Modificación de la descarga al cuerpo receptor.....	39

5. RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

5.1	Mantenimiento del sistema	41
5.1.1	Mantenimiento de la red de alcantarillado	42
5.1.2	Estructuras de pretratamiento	43
5.1.3	Estructuras de aforo	43
5.1.4	Estructuras de entrada y salida de la laguna.....	43
5.1.5	Protección de taludes de la laguna.....	44
5.1.6	Lagunas de estabilización	44
5.1.7	La descarga al cuerpo receptor	45
5.2	Operación de la laguna de estabilización	45
5.2.1	Personal de operación.....	46
5.2.2	Medición de caudales.....	48
5.2.3	Toma de muestras y pruebas de laboratorio	48

6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

6.1	Medición de caudales.....	51
6.1.1	Metodología de la medición y frecuencia.....	51
6.1.2	Puntos de aforos.....	52
6.2	Caudales de diseño y sus variaciones.....	53

6.2.1	Valores estadísticos.....	53
6.2.2	Caudal promedio en 12 horas de aforo.....	53
6.2.3	Caudal promedio por hora.....	56
6.2.4	Caudales máximos y mínimos.....	58
6.3	Análisis de resultados.....	60
6.3.1	Variación de caudales.....	62
6.3.2	Factor de retorno de aguas residuales	63
6.3.3	Período de retención.....	64
6.3.4	Acumulación de lodos.....	64
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	APÉNDICES	71
	ANEXOS	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Fondo de pozo de visita	24
2	Brocal de pozo de visita	25
3	Laguna de estabilización de la Escuela Politécnica	26
4	Vegetación dentro de la laguna	28
5	Masa de vegetación flotante en la laguna.....	28
6	Plantas acuáticas y algas en la laguna	29
7	Canal de salida de la laguna.....	30
8	Losa de concreto y efluente de laguna	31
9	Aforo del efluente de laguna de estabilización.....	52
10	Gráfico de caudal promedio en 12 horas de aforo a la entrada.	54
11	Gráfico de caudal promedio en 12 horas de aforo a la salida....	55
12	Gráfico de caudal promedio por hora a la entrada.....	57
13	Gráfico de caudal promedio por hora a la salida.....	58
14	Plano de localización.....	79
15	Plano de ubicación.....	80
16	Planta general de la Escuela Politécnica.....	81
17	Planta de drenajes existentes.....	82
18	Planta de laguna de estabilización.....	83
19	Perfil de laguna de estabilización.....	84
20	Detalle de talud interior.....	85
21	Detalle de estructura de entrada.....	86
22	Detalle de estructura de salida.....	87
23	Lodos en la laguna de estabilización.....	88

24	Detalle de canal rejilla – desarenador.....	89
25	Detalle de rejilla.....	90
26	Detalle de desarenador.....	91
27	Detalle de la caja de vertedero.....	92
28	Detalle de vertedero triangular.....	93

TABLAS

I	Longitudes y diámetros de tubería de alcantarillado	18
II	Valores estadísticos	53
III	Caudal promedio en 12 horas de aforo a la entrada	54
IV	Caudal promedio en 12 horas de aforo a la salida	55
V	Caudal promedio por hora a la entrada	56
VI	Caudal promedio por hora a la salida	57
VII	Caudal máximo y mínimo a la entrada	59
VIII	Caudal máximo y mínimo a la salida	60
IX	Análisis físico – químico	61
X	Análisis bacteriológico	62
XI	Variación de caudales	63
XII	Planimetría de la laguna de estabilización	73
XIII	Altimetría de la laguna de estabilización	75
XIV	Caudales de entrada ordenados ascendentemente	77
XV	Caudales de salida ordenados ascendentemente	78
XVI	Horario del cuerpo de cadetes días lunes, martes, miércoles	97
XVII	Horario del cuerpo de cadetes día jueves	98
XVIII	Horario del cuerpo de cadetes día viernes	99
XIX	Horario del cuerpo de cadetes día sábado	100
XX	Horario del cuerpo de cadetes día domingo	100

LISTA DE SÍMBOLOS

DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
DQO	Demanda química de oxígeno
lts/seg	Litros por segundo
PVC	Cloruro de polivinilo
seg	Segundos
°C	Grados Celsius
∅	Diámetro

GLOSARIO

Acuicultura	Conjunto de técnicas de aprovechamiento de los recursos acuáticos marinos o fluviales (animales y vegetales).
Afluente	Arroyo o río secundario que desemboca en otro principal. También se le conoce al agua residual que ingresa a una planta de tratamiento.
Algas	Son plantas muy sencillas que carecen de verdaderos órganos y contienen clorofila.
Bacterias	Son grupos de organismos microscópicos unicelulares, que realizan una serie de procesos de tratamiento.
Demanda bioquímica de oxígeno	Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20 grados centígrados). DBO ₅ .
Demanda química de oxígeno	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en una prueba que dura dos horas. DQO.

Efluente	Agua que sale de un proceso de tratamiento.
Lodos	Mezcla de tierra y agua. Barro blando, resultado de la depuración de las aguas residuales.
Natas	Sustancia espesa que sobrenada en algunas unidades de tratamiento.
Parásitos	Organismos protozoarios y helmintos que habitando en el intestino del hombre y animales de sangre caliente pueden causar enfermedades.
Período de retención	Tiempo teórico que permanecen las aguas residuales en una unidad de tratamiento para depurarlas.
Plantas acuáticas	Plantas que viven o crecen en el agua o en su proximidad.
Pretratamiento	Proceso de tratamiento localizado antes del tratamiento primario.
Tratamiento biológico	Proceso en el cual la materia orgánica de desecho es asimilada por bacterias y otros microorganismos, para su estabilización.

RESUMEN

Para lograr una adecuada depuración de las aguas residuales, es importante tener conocimiento sobre éstas y sus constituyentes. Una opción muy favorable para el tratamiento de las aguas residuales, es por medio de las lagunas de estabilización por las distintas ventajas que presentan. Es necesario conocer los distintos tipos de lagunas que existen y su distribución espacial dentro de un sistema de tratamiento, si se emplean las lagunas como unidades de depuración.

En este trabajo se evaluaron las condiciones físicas y de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Escuela Politécnica, la cual se ubica en el municipio de San Juan Sacatepéquez, del departamento de Guatemala. Esta planta de tratamiento emplea como unidad de tratamiento una laguna primaria facultativa, que será objeto de análisis y estudio. Este trabajo no contempla el análisis de la calidad del agua, ya que otro estudio hará referencia a éste.

Los problemas que se presentan en esta planta de tratamiento y en otras, son originados por la falta de operación y mantenimiento. Entre los principales problemas se pueden mencionar: el crecimiento de la vegetación, la permanencia e incremento de animales y plagas, la acumulación de basura, la producción de malos olores y la destrucción de los taludes de la laguna.

Uno de los objetivos de este trabajo es detectar los problemas antes mencionados y plantear las posibles medidas correctivas. Recomendando la implementación de obras y actividades que mejoraran las condiciones actuales de la planta de tratamiento.

La operación y mantenimiento en una planta de tratamiento es indispensable, para que se pueda desarrollar correctamente el tratamiento en cada una de las unidades depuradoras y se logre alcanzar la calidad del efluente esperado de la planta de tratamiento. Si no se desarrollan adecuadamente estas actividades, el tratamiento de las aguas residuales no será el deseado y este lugar puede llegar a convertirse en una fuente de contaminación.

Se estimaron los caudales de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento de la Escuela Politécnica, llegando a determinar, por medio de cálculos y diferentes análisis, algunos parámetros que se presentan en tablas y gráficamente. Con esta información se propone recomendar mejoras para la laguna.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar las condiciones físicas y de operación de la laguna de estabilización de la Escuela Politécnica, así como determinar valores de diseño y proponer medidas para la operación y mantenimiento de la misma.

- **Específicos**

1. Determinar el consumo de agua potable de la Escuela Politécnica.
2. Determinar el factor de retorno de aguas residuales de la instalación militar.
3. Estimar caudales de diseño y sus variaciones diarias y horarias, en la entrada y salida de la laguna de estabilización.
4. Detectar los problemas de funcionamiento de las instalaciones.
5. Proponer medidas correctivas a los problemas de funcionamiento de las instalaciones.
6. Recomendar medidas para la operación y mantenimiento de la laguna de estabilización.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales por medio de lagunas de estabilización, se ha utilizado en las últimas décadas en casi todos los países; en Guatemala también se han construido sistemas de tratamiento que emplean lagunas de estabilización, usando parámetros de diseño desarrollados en otros países.

Cuando se diseña una planta de tratamiento de aguas residuales, se utilizan parámetros adecuados a las condiciones específicas del lugar. Establecer estos criterios resulta difícil, ya que en Guatemala se cuenta con poca información al respecto y, por lo tanto, los criterios que se usan son los recomendados por instituciones extranjeras.

Esta investigación pretende evaluar las condiciones físicas y de operación de la laguna de estabilización de la Escuela Politécnica, además de presentar propuestas para el mejor funcionamiento de las obras de infraestructura y determinar el caudal de aguas residuales que ingresa a la laguna.

Este estudio es parte de un proyecto coordinado por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Ejército de Guatemala. Los datos que se determinen, se utilizarán por la ERIS, para establecer parámetros hidráulicos de calidad de agua y eficiencia de las lagunas de estabilización. Esta investigación es parte de un proyecto que abarca las zonas militares de Jutiapa, Retalhuleu y Huehuetenango, en donde se tratan las aguas residuales usando lagunas de estabilización.

1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

1.1 Conceptos generales

1.1.1 Definición de laguna de estabilización

Es una laguna o embalse de poca profundidad, menor a cinco metros, construida generalmente de tierra, la cual recibe y retiene las aguas residuales durante determinado tiempo, con la finalidad de tratar estas aguas por medio de procesos naturales. Son utilizadas, por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento en comunidades pequeñas o medianas. También se les conoce como estanques de estabilización.

En este tipo de laguna es posible depurar las aguas residuales crudas (es decir, aquellas que no han sufrido ningún proceso de depuración) y efluentes de unidades de tratamiento (elementos específicos que forman parte del proceso de tratamiento de las aguas servidas en una planta de tratamiento) o de plantas de tratamiento de aguas residuales. Las aguas servidas que pueden depurar las lagunas son de origen doméstico (viviendas) o industrial (refinerías, mataderos, lecherías, pollerías).

Las lagunas pueden ser unidades de tratamiento únicas o formar diversas combinaciones con otras unidades de tratamiento o con otras lagunas.

Éstas se pueden clasificar en relación al lugar que ocupan dentro del proceso de tratamiento, se les llama primarias cuando reciben aguas residuales crudas, secundarias cuando reciben efluentes de otras unidades de tratamiento, y de maduración o pulimento si lo que se busca es reducir el número de organismos coliformes (microorganismos indicadores de contaminación fecal), después de haberse removido la mayor parte de sólidos, DBO_5 y parásitos intestinales (causantes de enfermedades).

1.1.2 Objetivos de las lagunas de estabilización

El objetivo de las lagunas de estabilización es entregar un efluente con la mejor calidad posible (es decir, con la menor contaminación), de acuerdo a las características de las aguas residuales que recibe, empleando los diferentes tipos de lagunas y sus combinaciones.

El proceso de tratamiento que se produce en una laguna de estabilización logra remover compuestos orgánicos (la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, la Demanda Química de Oxígeno DQO y nutrientes), sólidos en suspensión, parásitos y organismos coliformes. Dependiendo de la calidad del efluente, se puede utilizar en el riego agrícola, la acuicultura y en reforestación.

1.1.3 Factores que influyen en las lagunas

Las lagunas se ven afectadas por factores externos e internos. Las condiciones climáticas, de infraestructura, las tareas de operación y mantenimiento son factores externos.

Mientras que las características de las aguas residuales afectan y condicionan el proceso natural de tratamiento, lo que se considera como factores internos.

1.2 Características de las aguas residuales

Dependiendo de las características de las aguas residuales, se puede establecer cuál es la mejor forma de tratarlas. Las aguas servidas están compuestas por componentes físicos, químicos y biológicos, los que se relacionan entre sí.

De acuerdo a la cantidad de estos componentes, se dice que las aguas residuales pueden tener una concentración fuerte, media o débil. La concentración y la composición cambian constantemente en el tiempo, por diversos factores como la hora y el día.

1.2.1 Características físicas

Las características físicas de las aguas residuales son: la temperatura, el color, el olor y los sólidos totales.

Estas características se utilizan para determinar la mortalidad o crecimientos indeseables de la vida acuática, también se puede conocer el origen de estas aguas, el tiempo que tienen de haberse producido, permitiendo evaluar que procesos son los que se necesita para depurar estas aguas.

1.2.2 Características químicas

En las aguas residuales existe la materia orgánica y la materia inorgánica. Las principales sustancias orgánicas que se encuentran en estas aguas son las proteínas, los carbohidratos, las grasas y los aceites.

Principalmente de las aguas residuales industriales, procede la materia inorgánica, entre los constituyentes principales se pueden mencionar: el ión hidrógeno, los cloruros, carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio, nitrógeno, fósforo, azufre, los compuestos tóxicos y metales pesados.

Las diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en las aguas residuales pueden afectar al proceso biológico de tratamiento, inclusive pueden llegar a detenerlo. Si se conoce las sustancias presentes en las aguas residuales se puede evaluar la técnica de tratamiento más adecuada para depurar dichas aguas.

Los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo pueden llegar a causar grandes problemas en los efluentes de las plantas de tratamiento. Los metales pesados en el agua, en cantidades excesivas, pueden ser tóxicos.

1.2.3 Características biológicas

Los principales grupos de organismos en las aguas residuales son los protistas, las plantas y los animales. Los protistas incluyen las bacterias, hongos, protozoos y algas. Las plantas se clasifican en semillas, helechos, musgos y hepáticas. Los animales se clasifican en invertebrados y vertebrados.

Es importante conocer los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales, en la vida acuática (ríos, lagos, mar), así como los que intervienen en el tratamiento biológico, ya que son indicadores de la calidad del agua.

1.3 Clasificación de lagunas

Las lagunas de estabilización, se clasifican según: su función microbiológica y su distribución física.

1.3.1 Según su función microbiológica

Se clasifican en: lagunas aerobias, lagunas anaerobias, lagunas facultativas y lagunas aireadas.

1.3.1.1 Lagunas aerobias

Su profundidad varía desde los 0.15 metros hasta 1.50 metros. La finalidad de esta laguna es mantener las condiciones aerobias (presencia de oxígeno), ya que se reduce la materia orgánica por medio de las bacterias aerobias.

Existen dos tipos de lagunas aerobias, en el primer tipo se pretende elevar al máximo la producción de algas y su profundidad se limita de 0.15 a 0.45 metros, mientras que en el segundo se busca elevar al máximo la cantidad de oxígeno producido, alcanzando profundidades de hasta 1.50 metros.

Esta laguna presenta la limitante de destruir parásitos y su eficiencia en la remoción de DBO_5 es de un 65% a un 75%. La desventaja de esta laguna es que necesita bastante área de terreno para su construcción.

Se utilizan principalmente para el tratamiento de residuos orgánicos solubles y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.3.1.2 Lagunas anaerobias

Estas lagunas tienen en general una profundidad entre 2.50 a 5.00 metros. Se caracterizan por la ausencia de oxígeno, por lo que pueden recibir cargas orgánicas mayores. Presenta una coloración gris o negra y su período de retención es corto. Una ventaja es que requiere poca área de terreno para su construcción.

La eficiencia en la remoción de DBO_5 es de un 60% a un 70%, en óptimas condiciones de funcionamiento se puede eliminar hasta el 85%. La desventaja de esta laguna, es la acumulación de natas que son desagradables, lo cual influye en el mantenimiento.

Se emplea este tipo de laguna para el pretratamiento de aguas residuales industriales o aguas residuales con cargas orgánicas altas. Su efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica, necesitando de otro proceso para complementar el tratamiento.

1.3.1.3 Lagunas facultativas

Esta laguna es la más utilizada a nivel mundial, su profundidad puede estar entre 1.50 a 2.00 metros, es una combinación entre la laguna aerobia y la anaerobia. El tiempo de retención de esta laguna es más prolongado.

Existen tres zonas en las lagunas facultativas: una zona aerobia superficial, en donde las algas y las bacterias aerobias existen en armonía, una zona anaerobia inferior, en la que los sólidos acumulados son descompuestos por las bacterias anaerobias y una zona intermedia, la cual es aerobia y anaerobia, donde se descomponen los residuos orgánicos por las bacterias facultativas.

Presenta la ventaja de requerir menor área que una laguna aerobia y no produce los malos olores que una laguna anaerobia.

La eficiencia en la remoción de DBO_5 es de un 60% hasta un 85%. La remoción de bacterias coliformes, puede alcanzar valores del 99.99%.

Se utiliza para el tratamiento de las aguas residuales, así como para una amplia variedad de residuos industriales. Las lagunas facultativas se pueden usar como una laguna primaria única o una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aireadas.

1.3.1.4 Lagunas aireadas

Estas lagunas se han utilizado principalmente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales, así como para aumentar la capacidad de lagunas facultativas sobrecargadas o cuando no se dispone de mucho terreno.

Su profundidad es de dos a seis metros, son lagunas a las que se les suministra artificialmente aire por medios mecánicos o aire comprimido. Se han empleado principalmente en países en donde se marcan las cuatro estaciones del año, evitando el crecimiento excesivo de algas y las variaciones que puede provocar una sobrecarga orgánica. Su tiempo de retención es de tres a diez días.

Entre las ventajas de utilizar este tipo de laguna se pueden mencionar: se reduce el área del terreno, el período de retención es más corto que el de las lagunas facultativas sin aireación.

Después de una laguna aireada debe seguir una laguna facultativa. En la remoción de organismos patógenos, son ineficientes.

1.3.2 Según su distribución física

De acuerdo a su distribución física, las lagunas de estabilización pueden estar distribuidas en serie o en paralelo.

1.3.2.1 Lagunas en serie

Las lagunas en serie dependen de: la topografía del terreno, del movimiento de tierras, del costo de la construcción y de la calidad del efluente del sistema.

Si se desea un efluente de mejor calidad, es necesario utilizar un mayor número de unidades en serie. Este sistema es útil cuando se tienen altos niveles de DBO o cuando sea importante la eliminación de coliformes.

1.3.2.2 Lagunas en paralelo

Las lagunas en paralelo dependen de las etapas de implementación de las unidades, de la topografía del terreno, y de las actividades de operación y mantenimiento de las instalaciones.

El uso de unidades en paralelo permite la remoción de lodos, interrumpiendo el funcionamiento en una unidad mientras se limpia la primera.

Los sólidos depositados en las lagunas, cuando se encuentran en paralelo se distribuyen de mejor forma. Las lagunas son más pequeñas facilitando la circulación en ellas y la acción de las olas es menor.

2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR Y DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

2.1 Características de la Escuela Politécnica

La Escuela Politécnica es el centro de formación militar, en donde las damas y los caballeros cadetes, reciben instrucción militar y académica para obtener el título de Oficial del Ejército de Guatemala, el despacho de Subteniente en cualquiera de las armas y servicios.

2.1.1 Localización y vías de acceso

La Escuela Politécnica se ubica en la finca “La Asunción”, de la aldea Comunidad de Ruiz, perteneciente al municipio de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala. Su latitud es 14° 45' 20.52”, mientras que su longitud es 90° 38' 22.20”. Ver figuras 14 y 15 planos esquemáticos de localización y ubicación.

Para llegar a las instalaciones se accede por la ruta nacional No. 5, que de la ciudad de Guatemala conduce a San Juan Sacatepéquez a lo largo de aproximadamente 31 kilómetros. De esta población se continúa por la misma ruta nacional No. 5 hacia la aldea Comunidad de Ruiz en donde existe un desvío hacia la Escuela Politécnica.

2.1.2 Clima, temperatura y humedad

Esta institución militar se encuentra a una altura aproximada de 1845 metros sobre el nivel del mar, su clima es de templado a frío. La vegetación natural característica es el bosque, por lo que se considera húmedo, el terreno es bastante montañoso y quebrado. Su temperatura promedio anual se encuentra entre los 20 °C.

2.1.3 Descripción hidrográfica

El municipio de San Juan Sacatepéquez se encuentra bañado por 42 ríos, 9 riachuelos y 19 quebradas. Los efluentes de las instalaciones de la institución descargan en el río Sactzí el que a su vez es afluente del río Pixcayá perteneciente a la cuenca del río Motagua.

2.1.4 Uso de la tierra

En las instalaciones de esta institución militar principalmente se desarrolla las actividades de entrenamiento físico, militar y académico a los estudiantes (damas y caballeros cadetes), además se realizan algunas otras actividades como la agricultura y el cuidado de caballos.

2.1.5 Población de la Escuela Politécnica

La población con que cuenta la Escuela Politécnica es la siguiente: Oficiales del Ejército de Guatemala, personal administrativo, personal docente, damas y caballeros cadetes, especialistas del Ejército de Guatemala y compañía de fusileros. La población es de aproximadamente 880 personas.

2.2 Características de las instalaciones

Las instalaciones de la Escuela Politécnica son adecuadas para la labor que en ellas se desempeña. Los Oficiales del Ejército de Guatemala cuentan con módulos (áreas adecuadas para su residencia), así como su propio comedor.

El personal administrativo y docente cuenta con el edificio administrativo, así como las oficinas académicas y de logística. Las damas y caballeros cadetes tienen sus respectivos módulos, aulas, auditorium, biblioteca, gimnasio, piscina, área recreativa (estadio de fútbol, béisbol), comedor, club de cadetes, caballeriza y enfermería.

Los especialistas cuentan con su módulo, comedor y tienen a su cargo, la panadería, la tortillería, la cocina, la lavandería, las calderas, las hortalizas, el taller mecánico y el mantenimiento de las instalaciones en general. La compañía de fusileros (la tropa de soldados del Ejército de Guatemala) poseen su módulo, comedor, se encargan del cuidado y vigilancia de las instalaciones militares. Ver figura 16 planta general (esquemático).

2.2.1 Sistema de abastecimiento de agua potable

La información que se obtuvo de este sistema fue proporcionada por los especialistas del Ejército de Guatemala, que trabajan en esta institución, ya que no cuentan con planos de las instalaciones hidráulicas.

Esta instalación militar cuenta con su propio sistema de abastecimiento de agua potable, que satisface el consumo de la población existente.

La fuente de abastecimiento del sistema es por medio del agua subterránea, la cual se extrae empleando 3 pozos mecánicos. El pozo No.1 y No. 2 se encuentran a una altura topográfica menor respecto al pozo No. 3 y a los tanques de distribución. La profundidad promedio de los pozos es de 580 pies, utilizando para su extracción bombas con potencia de 15 caballos de fuerza, respectivamente, en cada pozo. La tubería de succión de estos pozos es de 3 y 4 pulgadas de diámetro, de distinto material para cada pozo.

Los pozos mecánicos 1 y 2 bombean y conducen el agua hacia el tanque unificador de caudal. La geometría de este tanque es circular y cierta parte de su estructura se encuentra sobre la superficie del terreno, para su construcción se utilizó concreto reforzado. La capacidad de este tanque es de 196 m³ aproximadamente.

Posteriormente, se bombea del tanque unificador de caudal hacia los tanques de distribución, empleando en la red de conducción, tubería de diámetro 8" de PVC con sus accesorios hidráulicos necesarios.

Existen dos tanques de distribución, la geometría de los tanques es circular y rectangular. El tanque circular de distribución tiene las mismas dimensiones que el tanque unificador de caudal, es decir que cuenta con una capacidad de 196 m³, este tanque se utiliza principalmente cuando recibe mantenimiento el tanque rectangular y se encuentra parcialmente enterrado.

El tanque rectangular de distribución se encuentra enterrado y su capacidad es de 388 m³ aproximadamente. A este tanque llega la tubería de conducción de 8" de PVC y la tubería de conducción de 4" de PVC proveniente del pozo mecánico No.3, que se encuentra cerca de estos tanques de distribución. De acuerdo al personal de mantenimiento, se estima que en dos días se vacía este tanque.

El agua se distribuye hacia toda la instalación militar por gravedad, utilizando tuberías de PVC de diferentes diámetros para los ramales de la red de distribución, contando para tal efecto con sus respectivos accesorios hidráulicos. Para la desinfección del agua se aplica cloro.

2.2.1.1 Consumo de agua potable

El agua que se consume en la Escuela Politécnica se utiliza para la higiene personal, la elaboración de comidas, el lavado de platos y ropa, el riego de áreas verdes. En estas instalaciones militares no existe medición de consumos de agua.

Los módulos de los cadetes son áreas en las que residen los estudiantes que aspiran a graduarse de oficiales del Ejército. Los módulos cuentan con duchas, lavamanos, mingitorios e inodoros y tienen capacidad para 24 cadetes, en la Escuela Politécnica existen 12 módulos. Además en esta institución militar existen servicios sanitarios: en el club de cadetes, pabellón de Oficiales, comedor de especialistas, aulas de clases y en el edificio administrativo.

Según el personal encargado del mantenimiento de las instalaciones, se estima que el tanque rectangular de distribución se vacía un 50% de su capacidad en 24 horas aproximadamente de servicio, es decir, un volumen de 194,400 litros. Determinando por medio de los cálculos respectivos que el consumo de agua potable estimado de esta instalación militar es de 221 litros por habitante por día.

2.2.2 Sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales

Todo lugar que albergue una población humana debe disponer adecuadamente sus desechos líquidos y sólidos; la Escuela Politécnica cuenta con un sistema de alcantarillado, que conduce las aguas residuales a una planta de tratamiento para depurarlas, evitando así contaminar los cuerpos de agua.

No cuentan con planos del sistema de drenajes, por lo que con la asistencia de los soldados de tropa de la compañía de fusileros se investigó la red del sistema de alcantarillado y se realizó el esquema de la planta de drenajes que se puede apreciar en la figura 17.

2.2.2.1 Red de alcantarillado

Aparentemente existe en la Escuela Politécnica un sistema separativo de alcantarillado (es decir, una tubería para las aguas residuales y otra para las aguas pluviales), pero en ciertos lugares de acuerdo a los diámetros de las tuberías, se vuelve combinado (es decir, que en una tubería se conducen las aguas residuales y las aguas pluviales).

Posteriormente por una caja derivadora se vierte la mayor parte del caudal pluvial hacia el zanjón natural y el resto de caudal continua por un sistema de alcantarillado para llegar a la planta de tratamiento.

Las conexiones a los edificios o acometidas son cajas o tubos que conectan un área de servicio al sistema de alcantarillado y las cuales pueden servir únicamente para el caudal pluvial, para el caudal sanitario o ambos.

Las cajas de registro y los pozos de visita cumplen varias funciones, como cambiar de diámetro a la tubería, pendiente, dirección, y una función muy importante que es el acceso al sistema de alcantarillado para darle mantenimiento al mismo.

Se encontraron nueve cajas de registro entre los módulos de cadetes y la planta de tratamiento de aguas residuales. Las cajas de registro son de ladrillo, y sus dimensiones internas son de 0.40 metros por 0.40 metros aproximadamente, su profundidad es variable y depende de la topografía del terreno.

En las instalaciones los pozos de visita están contruidos de ladrillo, las profundidades de éstos son variables y su máxima profundidad es de cuatro metros aproximadamente.

El sistema de alcantarillado cuenta con tubería de: concreto y PVC, de diferentes diámetros. Aproximadamente se encontró la información que se puede apreciar en la Tabla I:

Tabla I. Longitudes y diámetros de tubería de alcantarillado

De	A	Diámetro de tubería	Longitud
Residencia de cadetes	Pozo de visita unificador de caudal	Ø 16" concreto	350 metros
Enfermería de cadetes	Pozo de visita unificador de caudal	Ø 12" concreto	140 metros
Aulas	Pozo de visita unificador de caudal	Ø 6" PVC	250 metros
Pozo de visita unificador de caudal	Caja derivadora de caudal	Ø 16" concreto	28 metros
Caja derivadora de caudal	Laguna de estabilización	Ø 6" PVC	300 metros

2.2.2.2 Tratamiento de las aguas residuales

Del total de las aguas residuales que se producen en las instalaciones de la Escuela Politécnica un 85%, proveniente de las residencias de los cadetes y administración, son tratadas en una laguna de estabilización; el resto o sea un 15%, proveniente del área de especialistas y de la compañía de fusileros descarga libremente en el cauce natural más cercano afluente al río Sactzí.

2.2.2.3 Descarga al cuerpo receptor

El efluente de la laguna de estabilización se descarga en el zanjón más cercano, siguiendo su cauce natural hasta llegar al río Sactzí como se puede observar en el plano de ubicación, en la figura 15.

2.3 Características de la laguna

Según información proporcionada por el personal de mantenimiento de la institución, la laguna de estabilización fue construida entre los años 1980 y 1985 como parte de un programa de tratamiento de las aguas residuales provenientes de diversas instalaciones militares en el interior de la República. En este caso particular no se cuenta con mayor información respecto al proyecto que sirvió de base ni detalles de su construcción.

2.3.1 Descripción de la laguna

Se determinó que la laguna de estabilización de la Escuela Politécnica es una laguna facultativa, debido a su tamaño y a las condiciones aerobias - anaerobias que se reúnen en ella. Se muestra en forma esquemática la planta general, el perfil, los detalles de las estructuras de entrada y salida, así como los taludes de la laguna de estabilización en las figuras de la 18 a la 22.

De la residencia de los cadetes a la laguna de estabilización existen aproximadamente 650 metros, y de ésta a los pozos mecánicos de agua y el tanque unificador de caudal existe una longitud aproximada de 400 metros.

2.3.2 Pretratamiento de las aguas residuales

El único proceso de pretratamiento con que se cuenta es una trampa de grasas situada a la salida de la cocina. El resto de las aguas servidas no cuenta con ningún artefacto como rejillas, desarenador, etc. La trampa de grasas está formada por dos compartimentos que se encuentran separados por un tabique.

2.3.3 Estructura de entrada a la laguna

La entrada del caudal de aguas residuales a la laguna de estabilización es por medio de una tubería de 6" de diámetro de PVC. En la figura 21 se muestra la posible ubicación de la estructura de entrada esquemáticamente.

2.3.4 Diques

Los diques de la laguna forman su estructura y están contruidos con el mismo suelo existente, compactado adecuadamente. Los diques se encuentran protegidos por los taludes internos y externos, de las condiciones de la intemperie. Las dimensiones de los diques no pudieron ser determinadas debido a la gran cantidad de vegetación que los cubre.

2.3.5 Protección de taludes

En un principio los taludes interiores de los diques estuvieron protegidos por planchas de concreto, en la actualidad dichas planchas solo pueden observarse en determinados lugares de los diques, su conformación es de concreto, grava y rocas. Exteriormente no se cuenta con ninguna protección. Ver plano esquemático de taludes en la figura 20.

2.3.6 Estructura de salida de la laguna

La salida de la laguna se hace por medio de un canal rectangular de mampostería de piedra. La altura a que está conectado este canal es la que regula el nivel del agua en la laguna.

Tal como puede observarse en la figura 22, la salida se ubica en uno de los diques laterales que descarga a un zanjón abierto que es afluente del río Sactzí.

2.4 Dimensiones de la laguna

Para determinar las dimensiones de la laguna, se realizó un levantamiento topográfico, para lo cual se contó con una cuadrilla de topografía, perteneciente al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Guatemala.

La laguna tiene un área superficial de 25 x 60 metros, con una profundidad aproximada de dos metros. En el plano esquemático de la planta de la laguna, se aprecian las dimensiones de ésta, así como su ubicación dentro de las instalaciones de la institución, como se observa en la figura 18. Se puede observar la forma en que llega el alcantarillado sanitario a la laguna y el perfil de ésta para su descarga, en el plano esquemático del perfil en la figura 19.

3. PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

3.1 Condiciones de la red de alcantarillado

En general, la red de alcantarillado se encuentra en buenas condiciones, ya que las instalaciones reciben un buen mantenimiento que evita que materiales que pudieran obstruir el sistema lleguen al mismo.

3.1.1 Acometidas y cajas de registro

Dentro del área de habitación de los cadetes, las acometidas a los edificios y cajas de registro se encuentran en buen estado, algunas cajas de registro son visibles debido a que la grama está recortada y las tapaderas se encuentran pintadas con cal, mientras que otras se encuentran enterradas.

Las cajas de registro que conducen el caudal sanitario de la caja derivadora de caudal a la laguna de estabilización, se encontraban en condiciones aceptables, solamente algunas presentaban vegetación en sus paredes internas. Muchas de estas cajas no se pueden localizar fácilmente debido que se encuentran dentro de la vegetación.

3.1.2 Pozos de visita

Los pozos de visita existentes en la Escuela Politécnica están contruidos de ladrillo, su profundidad es variable, no cuentan con escalones o peldaños para bajar al pozo, ya que presentan el problema de las caídas de agua, lo que dificulta el mantenimiento, en el fondo del piso del pozo no existe un canal que conduzca las aguas residuales y pluviales.

Algunos pozos cuentan un brocal adecuado mientras que otros no, además algunas tapaderas se encuentran quebradas, o no cuentan con agarradores para poderlas levantar. En la figura 1 se puede aprecia el fondo de un pozo de visita, mientras que en la figura 2 se observa el brocal de otro pozo.

Figura 1. Fondo de pozo de visita



Figura 2. Brocal de pozo de visita



3.1.3 Tubería del sistema de alcantarillado

En general, la tubería del sistema que entra y sale de las cajas de registro y de los pozos de visita, se encuentra en buen estado. Proveniente de la enfermería a una distancia de 20 metros del pozo de visita unificador de caudal se encuentra fracturada la tubería de concreto de 12" de diámetro, representando un peligro para las personas que pasan por el lugar, además de los problemas que generan las aguas residuales al fluir superficialmente.

3.2 Condiciones de la laguna de estabilización

Antes de la laguna existe una estructura abandonada cuyo propósito se desconoce. Las aguas residuales no pasan por esta estructura porque existe una caja derivadora de caudal, que las desvía hacia la laguna.

En la superficie de la laguna y por falta de mantenimiento se ha formado una masa de vegetación flotante en la laguna, la que se desplaza en diferentes direcciones bajo la acción del viento. Además se encuentran dentro de la laguna aves acuáticas, roedores, insectos, vegetación y otro tipo de seres vivos y basura, que interfieren con el buen funcionamiento de la laguna, como se puede apreciar en la figura 3.

A un lado de la laguna, se puede observar que se efectuó un movimiento de tierras, aparentemente con el fin de construir otra laguna.

Figura 3. Laguna de estabilización de la Escuela Politécnica



3.2.1 Trampa de grasas

En la trampa de grasas existe cierta cantidad de grasa acumulada. El primer compartimento está lleno de grasa mientras que el segundo contiene algunos sólidos en suspensión. Es evidente que esta estructura no ha recibido el mantenimiento adecuado durante cierto tiempo.

3.2.2 Medición de caudal

No existe ninguna instalación que permita conocer o determinar los caudales que se manejan en estas instalaciones.

3.2.3 Estructura de entrada a la laguna

No es posible identificar la forma ni el estado en que se encuentra la entrada de las aguas residuales a la laguna ya que se encuentra totalmente cubierta de vegetación.

3.2.4 Estado actual de los taludes de los diques

El estado actual de los taludes tanto interior como exterior no es el adecuado, ya que existe vegetación de dimensiones considerables, que los han destruido parcialmente. En algunos sectores las raíces de esta vegetación han ocasionado gran daño. En estas estructuras han proliferado roedores y otros animales que allí habitan.

3.2.5 Vegetación

Debido a la falta de mantenimiento la vegetación ha proliferado dentro y fuera de la laguna de estabilización, como puede apreciarse en la figura 4. Alrededor de la laguna se encuentra cubierto de caña brava, lo que limita la adecuada y necesaria aireación de la laguna.

Existe una masa flotante de vegetación que se desplaza constantemente como se aprecia en la figura 5. En la entrada a la laguna existe vegetación acumulada dentro del cuerpo de la laguna, la misma condición puede observarse en las orillas, los taludes, la salida y las esquinas de la laguna.

Figura 4. Vegetación dentro de la laguna



Figura 5. Masa de vegetación flotante en la laguna



3.2.6 Algas

En esta laguna se encontraron algas y plantas acuáticas que participan en el proceso natural de depuración de las aguas residuales, tal como se aprecia en la figura 6.

Es conveniente determinar la densidad de algas que puede ser permitida, de lo contrario puede llegar a causar problemas al cuerpo receptor por la cantidad de nutrientes que contiene el efluente.

Figura 6. Plantas acuáticas y algas en la laguna



3.2.7 Altura de lodos

Los lodos se han acumulado en la laguna de estabilización desde que inició su operación, ya que no ha recibido ningún mantenimiento.

Se realizó una medición de lodos en diversos puntos como se puede apreciar en la figura 23, en ciertas áreas existía mayor acumulación, aproximadamente unos 20 centímetros de altura, mientras que en otros sectores alrededor de unos 10 centímetros de altura.

3.2.8 Fauna

Debido a la falta de mantenimiento la laguna de estabilización se ha convertido en el hábitat de aves acuáticas, roedores, insectos y otras especies.

3.2.9 Estructura de salida de la laguna

Por alguna razón el desfogue de la laguna se encontraba obstruido por ramas y costales. Al remover estos obstáculos descendió el nivel del agua a su nivel normal. En la figura 7 se puede observar el canal de salida de la laguna.

Figura 7. Canal de salida de la laguna



3.3 Condiciones de la descarga al cuerpo receptor

Es de suponer que el efluente se conectaría a otra laguna, la cual no se terminó de construir por algún motivo. A un lado de la carretera de terracería, escurre superficialmente el efluente, para infiltrarse parcialmente en el suelo, lo que ha provocado erosión en el zanjón.

En la figura 8 se aprecia la losa de concreto que recibe la descarga del efluente.

Figura 8. Losa de concreto y efluente de laguna



4. MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

4.1 Medidas de corrección a la red de alcantarillado

La red de alcantarillado en términos generales está en buenas condiciones. A continuación se mencionan algunos aspectos que se recomienda corregir.

4.1.1 Acometidas y cajas de registro

Se recomienda eliminar toda la vegetación que existe en el trayecto que sigue el sistema de alcantarillado, desde el área de residencia de los cadetes hasta la laguna de estabilización, para poder darle mantenimiento adecuado al sistema así como para identificar la ubicación de las cajas de registro que existan.

Las tapaderas de las cajas de registro deben ser fácilmente identificables para lo cual se recomienda aplicarles pintura blanca, tal como puede observarse en el área de las aulas y las residencias de los cadetes. Si existiera alguna tapadera quebrada debe ser remplazada. Es conveniente elevar el nivel de las bocas de acceso de las cajas hasta el nivel del terreno y colocarles su correspondiente tapadera.

4.1.2 Pozos de visita

Las condiciones en general de los pozos de visita son aceptables. Las tapaderas que se encuentran dañadas deben ser remplazadas, ya que pueden provocar algún accidente.

Es conveniente, en los casos en que existan diferencias de nivel considerables entre la entrada y salida de los pozos, que exista una cámara adecuada que impida que las aguas residuales caigan sobre las personas en el momento que se realice el acceso para una inspección adecuada de las tuberías de entrada y salida al pozo de visita.

También conviene instalar escalones para el fácil acceso a la estructura, así como la construcción de un canal que permita el flujo sin turbulencias en el fondo del pozo de visita.

4.1.3 Tubería del sistema de alcantarillado

La tubería en general se encuentra en buenas condiciones. El tramo de tubería que debe cambiarse, porque se encuentra fracturada, es el que va de la enfermería hacia el pozo que unifica los caudales de las distintas instalaciones, aulas, módulos de cadetes e instalaciones administrativas. Es importante realizar este cambio para evitar que se produzcan accidentes, malos olores y proliferación de vectores.

Se recomienda que el sistema de alcantarillado en esta instalación militar sea separativo, es decir, que una tubería conduzca únicamente las aguas residuales y otra únicamente las aguas de lluvia.

La caja derivadora de caudal debe cubrirse con tapaderas apropiadas, además es necesario estabilizar el talud natural por medio de un muro, gaviones o cualquier otro método para evitar que se continúe erosionando como hasta la fecha y así evitar que se pueda perder esta estructura.

4.2 Medidas de corrección a la laguna de estabilización

La superficie de la laguna de estabilización debe limpiarse constantemente, removiendo algas, plantas acuáticas, natas, basura y cualquier vegetación que este proliferando. Es muy importante elaborar un programa de análisis de calidad del agua para determinar sus características y evaluar si se está realizando el proceso de tratamiento esperado. No se debe permitir que esta laguna sea utilizada como criadero de peces. Asimismo no debe utilizarse el agua para regar con fines agrícolas.

4.2.1 Estructuras de pretratamiento

En la trampa de grasas se debe remover la grasa acumulada, para evitar que ésta llegue al sistema de alcantarillado y a la laguna, dificultando así el mantenimiento del sistema y el adecuado tratamiento de las aguas residuales.

Como parte del pretratamiento es importante que existan unidades que cuenten con rejillas y desarenadores. Estas unidades realizarán su función si existe una adecuada operación y mantenimiento de las mismas. De no existir la operación y el mantenimiento en la planta de tratamiento, estas mismas unidades terminarán provocando serios problemas de contaminación.

En los planos de las figuras 24, 25, 26 se muestran el canal rejilla – desarenador que se propone construir, ya que el caudal sanitario es mínimo como para utilizar estructuras de mayores dimensiones.

4.2.2 Estructura de aforo en la entrada a la laguna

Para realizar mejoras en la planta de tratamiento se debe determinar con mayor exactitud el caudal que está entrando a la laguna de estabilización, por lo que sería necesario contar con una estructura en la que se realice esta medición. Por lo tanto, se recomienda utilizar un vertedero triangular, ya que medidores del tipo Parshall o Palmer Bowlus, no son apropiados para el caudal que se necesita medir. En los planos que se muestran en las figuras 27 y 28 se detalla el vertedero triangular que se propone construir para esta planta de tratamiento.

4.2.3 Estructura de entrada a la laguna

En el momento en que se remuevan los lodos, se podrá conocer la situación real de la estructura de entrada a la laguna, verificando si existen problemas en la tubería de entrada. En caso que exista algún problema se debe buscar la mejor solución para hacer las reparaciones correspondientes. Esta información es importante que aparezca en el plano de la estructura de entrada tal como es en realidad.

4.2.4 Protección de taludes

Los taludes de la laguna de estabilización deberán inspeccionarse detenidamente para decidir si pueden repararse o si se construyen nuevamente. Los taludes deben tener las características que se especifican en los planos de las figuras 19 y 20.

4.2.4.1 Vegetación

La ventilación en una laguna de estabilización es muy importante para el proceso de tratamiento que ocurre en ella, por lo que debe eliminarse toda la vegetación que se encuentre alrededor y dentro de la laguna.

Deben eliminarse todas las raíces para evitar que proliferen nuevamente. Las raíces deben ser extraídas para que no se produzcan crecimientos de vegetación y se destruya la laguna. Al realizar esta actividad podrá conocerse cual es el estado real de los taludes y al mismo tiempo identificar el tipo de vida animal que exista, para su control y eliminación.

4.2.4.2 Materiales de construcción

Los materiales de construcción que se utilizarán para corregir los problemas que se detectaron deben ser de la mejor calidad, de acuerdo a las especificaciones que la ingeniería lo requiera.

4.2.5 Estructura de salida de la laguna

En esta estructura se recomienda que se construya un tabique para evitar la salida de natas, algas, plantas acuáticas, etc. El canal de salida debe ser diseñado en forma tal que permita que el caudal fluya sin obstáculos y sin producción de espumas tal como ocurre en la actualidad.

4.2.6 Estructura de aforo en la salida de la laguna

Se debe aforar la salida de la laguna, para mantener un registro de las fluctuaciones en el caudal del efluente. Puede usarse este dispositivo para control de la calidad del efluente. Con el objeto de mantener un mejor control en la operación de la laguna y en su caso proponer las obras que mejoren el funcionamiento del sistema de tratamiento.

Como antes se indicó para el aforo se propone la utilización de un vertedero triangular, ubicado en el lugar más adecuado para que no obstruya o produzca estancamiento. La comparación entre los caudales de entrada y salida permitirá determinar la magnitud de la infiltración, evaporación y otros parámetros importantes en la laguna de estabilización. En las figuras 27 y 28 se aprecia el detalle de esta estructura.

4.3 Modificación de la descarga al cuerpo receptor

Se recomienda analizar las condiciones de la descarga al cuerpo receptor a fin de determinar la eventual necesidad de construir una segunda laguna para mejorar el funcionamiento de la existente y en su caso permitir darle mantenimiento sin interrumpir el proceso.

El desfogue de la laguna al cuerpo receptor deberá ser mediante un conjunto de obras que asegure la disipación de energía, para evitar la erosión.

5. RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las plantas de tratamiento en Guatemala y en muchas partes del mundo han fracasado principalmente a la falta de operación y mantenimiento, actividades que se encuentran limitadas en gran medida por el poco o ningún personal a su cargo y los escasos recursos económicos que se le asignan a las mismas.

Para que sea eficiente la operación y mantenimiento se deben de considerar los costos en que se incurren en estas actividades. Existen dos costos principales, los costos del personal y los costos de mantenimiento de la obra civil. Los costos del personal incluyen al personal administrativo, de operación y mantenimiento.

5.1 Mantenimiento del sistema

Las plantas de tratamiento de aguas residuales que utilizan lagunas de estabilización como unidades de tratamiento son las más fáciles de operar y mantener, su costo de mantenimiento es más reducido que el de otras plantas de tratamiento.

Es muy importante contar con un manual de operación y mantenimiento en una planta de tratamiento, por lo que se recomienda la elaboración del mismo para la laguna de estabilización de esta instalación militar.

El costo de mantenimiento en una planta de tratamiento se refiere a la infraestructura como diques, caminos de acceso, a los equipos de medición, la casa del operador, la bodega, el equipo de oficina, la herramienta para mantenimiento, el laboratorio, el equipo de laboratorio, el vehículo y otros.

En la planta de tratamiento de la Escuela Politécnica debe analizarse si es necesario contar con una casa para el operador, así como con bodega y laboratorio.

El personal de mantenimiento debe responsabilizarse por el uso adecuado que se le dé a las herramientas y equipo. En la bodega debe disponerse de todas las herramientas de operación y mantenimiento.

De acuerdo a la topografía del terreno deberá considerarse el desvío de las aguas de lluvia hacia la laguna mediante un canal para evitar posibles daños causados por la erosión, dándole el adecuado mantenimiento. No deberá permitirse que la grama y vegetación crezcan más allá de aproximadamente 15 centímetros.

5.1.1 Mantenimiento de la red de alcantarillado

El conjunto de tuberías y accesorios que constituyen la red de alcantarillado deben ser objeto de una supervisión continua. Periódicamente deben ser removidas las tapas de los pozos de visita y las cajas inspeccionando la existencia de objetos que puedan obstruir el flujo a efecto de removerlos.

Debe controlarse para su remoción la capa biológica que se forma en la superficie de la tubería y estructuras del sistema, ya que la misma puede contribuir a su deterioro y eventual destrucción.

Las tapas que se encuentren dañadas deben ser repuestas y pintadas adecuadamente para su fácil localización. La caja desviadora de caudal debe ser limpiada periódicamente, evitando en esa forma que entren objetos extraños en el alcantarillado sanitario. La superficie del terreno del trayecto en que está colocada la tubería debe mantenerse libre de vegetación.

5.1.2 Estructuras de pretratamiento

Las unidades de pretratamiento existentes y las propuestas deben ser identificadas adecuadamente, para que se conozca su objetivo y características por medio de rótulos y pintura. Igual que en los casos anteriores debe controlarse la vegetación a su alrededor. La limpieza de estas estructuras es una operación muy simple que no requiere de mayores esfuerzos.

5.1.3 Estructuras de aforo

Los vertederos triangulares deben protegerse con pintura anticorrosiva para evitar en lo posible la corrosión producida por las características de las aguas residuales. Esto se tendrá que realizar cuando sea necesario, asimismo deberán ser fácilmente identificables.

5.1.4 Estructuras de entrada y salida de la laguna

Debe cuidarse que las estructuras en la entrada y salida no se obstruyan por ningún motivo, por lo que se removerá cualquier material que obstaculice el flujo en esos puntos.

5.1.5 Protección de taludes de la laguna

De preferencia los diques deben estar libres de vegetación y en el caso de contarse con grama ésta debe mantenerse cortada adecuadamente. Debe controlarse la posible erosión de los diques debido al agua de lluvia así como la reparación de las grietas que puedan formarse debido a diferentes causas.

5.1.6 Lagunas de estabilización

La medición de la acumulación de lodos se hará al menos una vez al año, usando una vara pintada de blanco para medir la mancha de lodos. La remoción de lodos es recomendable hacerla en períodos entre cinco a diez años, planificando adecuadamente esta limpieza.

La remoción de lodos se realizará en la estación seca, con una duración de dos meses como máximo. Por condiciones de limpieza es necesario que existan dos unidades de lagunas de estabilización en paralelo, ya que mientras se limpia una laguna la otra se sobrecarga.

Se drenará la laguna hasta que el lodo quede expuesto al ambiente y se produzca el secado por la evaporación producida por los rayos solares, formándose grietas en la superficie de los lodos. Cuando el lodo es manejable se puede remover en forma manual o con maquinaria.

Los lodos que se han secado adecuadamente se pueden usar como abono. Éstos tienen gran demanda como fertilizante y se pueden usar también en rellenos sanitarios.

5.1.7 La descarga al cuerpo receptor

La estructura de descarga debe mantenerse limpia de objetos que obstaculicen el libre flujo de la misma. Se debe prevenir la erosión que pueda ocasionar la caída de este caudal e implementar las medidas preventivas que pudieran aplicarse para que no se dañe esta estructura.

5.2 Operación de la laguna de estabilización

La planta de tratamiento de la Escuela Politécnica debe contar con un manual de operación y mantenimiento, el cual deberá contener como mínimo lo siguiente:

- Determinación de los procedimientos de operación y control de la planta de tratamiento.
- Establecimiento de la cantidad de personal necesario para la operación de la planta.
- Descripción de los parámetros de diseño y control, así como los procesos de tratamiento que se aplican en la planta.
- Descripción de los procedimientos de rutina y limpieza para la operación de la planta en sus etapas iniciales.
- Descripción de los procedimientos de mantenimiento de la infraestructura, así como el mantenimiento preventivo de los equipos.

La trampa de grasas, se debe limpiar de acuerdo a las condiciones de funcionamiento, para que las grasas no lleguen al sistema de alcantarillado ni a la laguna de estabilización y que en esta forma puedan causar problemas en el tratamiento biológico que allí ocurre.

El canal rejilla – desarenador debe limpiarse periódicamente de acuerdo con lo que dicte la experiencia para evitar la acumulación de sólidos, materia flotante y la arena en el desarenador. De preferencia deben existir dos estructuras en paralelo, para su adecuada limpieza. El material que ha sido removido de la rejilla deberá ser enterrado y cubierto con una capa de tierra de por lo menos de 0.20 metros.

El vertedero triangular deberá mantenerse limpio para que la medición del caudal sea confiable y eficiente. La medición del caudal debe hacerse continuamente tanto en la entrada como en la salida de la laguna.

Debe contarse con una obra de distribución del caudal, para que permita flexibilizar la operación en la planta de tratamiento.

La superficie de la laguna debe mantenerse limpia de natas y material flotante.

5.2.1 Personal de operación

Las plantas de tratamiento cuentan con personal administrativo, de operación y mantenimiento. Para determinar la cantidad de personal se debe tomar en cuenta las condiciones locales, el tipo de planta de tratamiento, así como la experiencia de operación y mantenimiento. Un Ingeniero Sanitario debe ser el encargado de la planta de tratamiento, por los conocimientos que tiene sobre el control de la contaminación y el tratamiento de las aguas residuales.

Es necesario que exista un perfil, para poder desempeñar un cargo específico en la planta de tratamiento, el cual debe incluir los conocimientos y habilidades que la persona debe poseer, así como las responsabilidades que conlleva.

En cuanto a los conocimientos y habilidades, se prefiere que las personas tengan título profesional, o hayan realizado capacitaciones adecuadas, así como conocer los reglamentos y leyes nacionales respecto al tratamiento de las aguas residuales.

Para que la planta opere adecuadamente, todo el personal debe cumplir con las responsabilidades que les corresponden según el puesto que desempeñen. Es muy importante el entrenamiento del personal, tanto en el tratamiento de las aguas residuales como sobre la seguridad industrial. Los jefes son los responsables por que exista un programa de prevención de accidentes y seguridad en el trabajo.

Es importante identificar los accidentes potenciales y los peligros asociados con todas las tareas de operación y mantenimiento; posteriormente se debe proponer una solución para cada peligro, de manera que éstos se puedan eliminar o controlar.

El personal debe contar con guías sobre:

- Vestimenta y equipos de seguridad para los diferentes tipos de personal
- Guía para prácticas seguras en las tareas de operación
- Guía para prácticas seguras en las tareas de mantenimiento
- Guía de procedimientos en condiciones de emergencia

5.2.2 Medición de caudales

Se debe contar con un archivo estadístico que recopile todas las mediciones de la planta de tratamiento de la Escuela Politécnica, para lo cual se tienen que elaborar formularios de registro de datos, que recogerán las mediciones de los caudales de entrada y salida, con los que se realizarán futuros análisis y nuevas propuestas.

Los caudales se medirán por medio de vertederos triangulares, para facilitar la medida y registro de los caudales. Para la estimación del caudal en un vertedero triangular de 90°, se utiliza la siguiente fórmula simplificada:

$$Q = 1380 H^{5/2}$$

Donde:

H es la carga en el vertedero expresada en metros.

Q es el caudal expresado en lts/seg.

La carga en el vertedero es la altura alcanzada por el agua, a partir de la cresta del vertedero. Los registros obtenidos en esta forma deben de ser clasificados y archivados para uso posterior.

5.2.3 Toma de muestras y pruebas de laboratorio

Para controlar el funcionamiento biológico de la laguna es necesario hacer análisis periódicos de los parámetros usuales (DBO, sólidos suspendidos, Oxígeno Disuelto, etc.), para lo cual deben tomarse muestras a la entrada y a la salida de la misma. Cuando se implementen las mejoras recomendadas y se produzca un efluente de mejor calidad, es posible utilizar el efluente para otros propósitos, tales como el riego de áreas verdes, la agricultura y acuicultura.

Por razones sanitarias es muy importante determinar el número más probable de los organismos coliformes del efluente.

Igual que en el caso de la medición de caudales los resultados de estas mediciones deben ser adecuadamente clasificados y archivados para una evaluación del funcionamiento de la laguna. La frecuencia de estas mediciones debe ser decidida por el operador de esta planta, de acuerdo con lo que se pueda observar del funcionamiento de las instalaciones.

6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

6.1 Medición de caudales

Con el objetivo de determinar distintos parámetros locales y conocer la eficiencia de la laguna de estabilización, se midieron los caudales a la entrada y a la salida de dicha laguna, contando para ello con la colaboración de los soldados de la compañía de fusileros de esta instalación militar.

6.1.1 Metodología de la medición y frecuencia

A la medición del volumen de agua que lleva una corriente por unidad de tiempo se le conoce como aforo. Para realizar el aforo de esta planta de tratamiento se utilizó el método volumétrico.

Se utilizó en este caso en particular una cubeta con un volumen de 18 litros, y se repitió el procedimiento en tres ocasiones para obtener un tiempo promedio, realizando esto en el punto de entrada como en la salida de la laguna.

Para esta actividad se contó con la colaboración del personal de esta instalación militar, empleando para tal operación guantes de hule para su protección.

Los aforos se realizaron durante un período de 8 días durante los cuales se midieron los caudales de entrada y salida de la laguna cada hora durante 12 horas continuas, de las 6 de la mañana a las 6 de la tarde de ese mismo día.

Se realizaron estos aforos en la semana del lunes 10 al lunes 17 de marzo del año 2003.

6.1.2 Puntos de aforos

Para realizar la medición de los caudales se escogieron dos lugares, el primero localizado en la caja de registro anterior a la entrada a la laguna y el segundo ubicado en la descarga del efluente. Se colocó una tubería de Ø 16" de concreto para canalizar el efluente y facilitar en esta forma la medición del caudal.

Se puede apreciar en la figura 9 el aforo del caudal de salida.

Figura 9. Aforo del efluente de laguna de estabilización



6.2 Caudales de diseño y sus variaciones

6.2.1 Valores estadísticos

Los resultados de las observaciones obtenidas fueron analizados estadísticamente asumiendo una distribución de frecuencias, en la cual los valores representativos son los valores centrales, así como la dispersión de los datos encontrados. Se determinaron los siguientes valores estadísticos por medio de las fórmulas respectivas, los cuales se pueden apreciar en la Tabla II.

Tabla II. Valores estadísticos

Valores estadísticos	Caudal de entrada	Caudal de salida
Media aritmética	1.97 lts/seg	1.29 lts/seg
Mediana	1.65 lts/seg	1.18 lts/seg
Moda	2.02 lts/seg	1.21 lts/seg
Intervalo de relación de datos	5.47 lts/seg	3.16 lts/seg
Varianza	1.12 lts/seg	0.59 lts/seg
Desviación típica	1.06 lts/seg	0.77 lts/seg

6.2.2 Caudal promedio en 12 horas de aforo

Se tabularon todas las mediciones de caudal de la semana del lunes 10 al lunes 17 de marzo del año 2003, en la entrada y en la salida, como se puede observar en las Tablas VII y VIII, determinando el caudal promedio en 12 horas de aforo a la entrada y a la salida tal como se observa en las Tablas III y IV. Estos resultados se pueden apreciar gráficamente en las figuras 10 y 11.

Tabla III. Caudal promedio en 12 horas de aforo a la entrada

<i>Día</i>	<i>Caudal promedio (lts/seg)</i>
Lunes	2.48
Martes	2.75
Miércoles	2.27
Jueves	1.87
Viernes	2.33
Sábado	1.47
Domingo	0.93
Lunes	1.83

Figura 10. Gráfico de caudal promedio en 12 horas de aforo a la

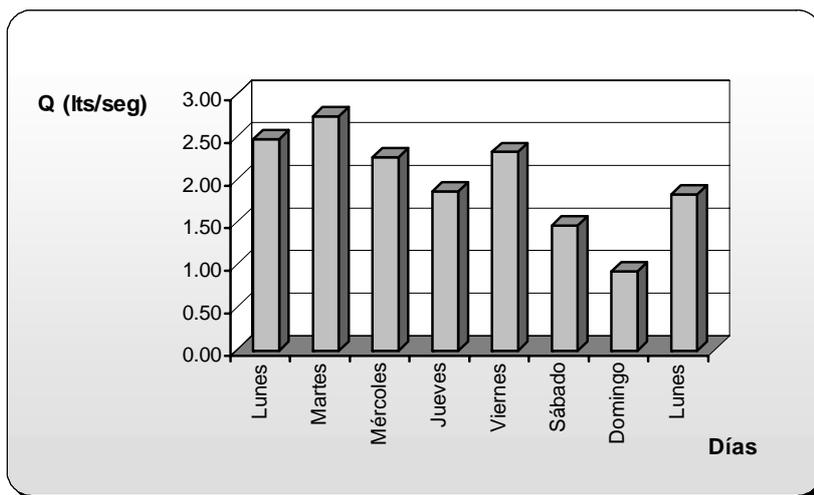
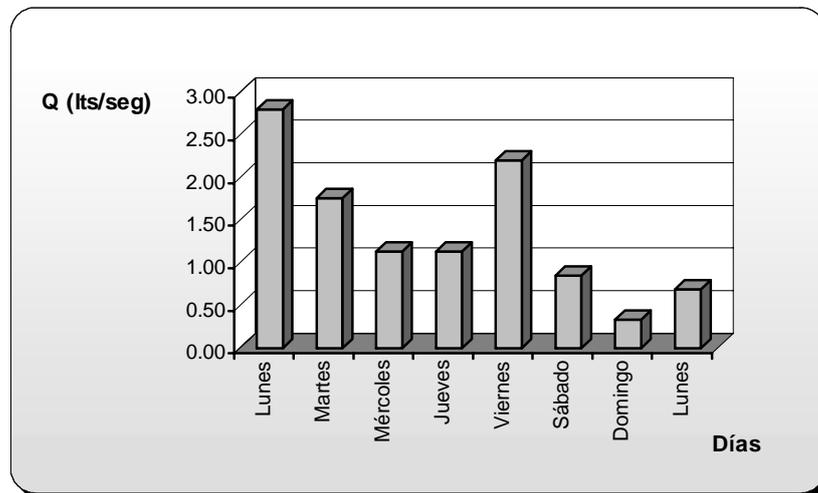


Tabla IV. Caudal promedio en 12 horas de aforo a la salida

<i>Día</i>	<i>Caudal promedio (lts/seg)</i>
Lunes	2.80
Martes	1.76
Miércoles	1.13
Jueves	1.13
Viernes	2.20
Sábado	0.85
Domingo	0.33
Lunes	0.69

Figura 11. Gráfico de caudal promedio en 12 horas de aforo a la



6.2.3 Caudal promedio por hora

En las Tablas VII, VIII se pueden apreciar los caudales que se obtuvieron a la entrada y salida a la laguna en la semana del lunes 10 al lunes 17 de marzo del año 2003, en un período de 12 horas. Posteriormente se determinó el caudal promedio por hora en los puntos antes mencionados, tal como se puede apreciar en las Tablas V, VI y en las graficas de caudal promedio por hora.

Tabla V. Caudal promedio por hora a la entrada

<i>Hora</i>	<i>Caudal promedio (lts/seg)</i>
6:00	2.61
7:00	2.29
8:00	2.26
9:00	1.69
10:00	1.67
11:00	2.40
12:00	1.76
13:00	1.57
14:00	2.43
15:00	1.83
16:00	1.99
17:00	2.10
18:00	1.20

Figura 12. Gráfico de caudal promedio por hora a la entrada

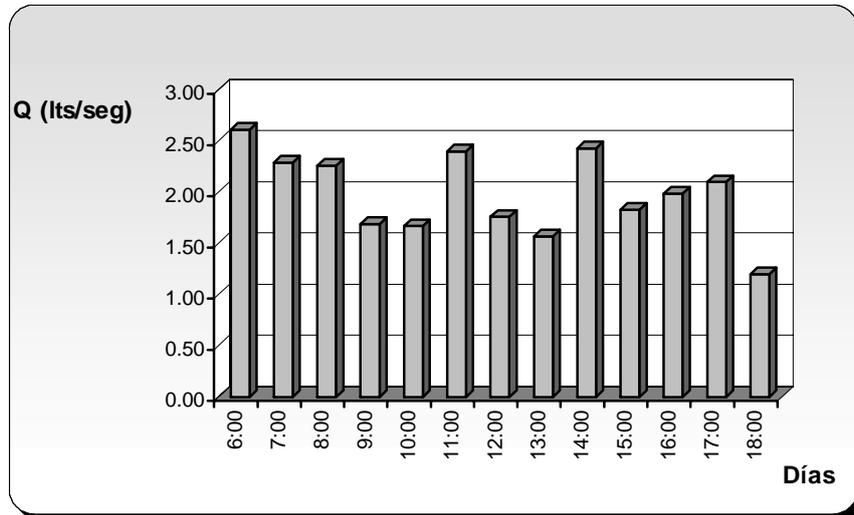


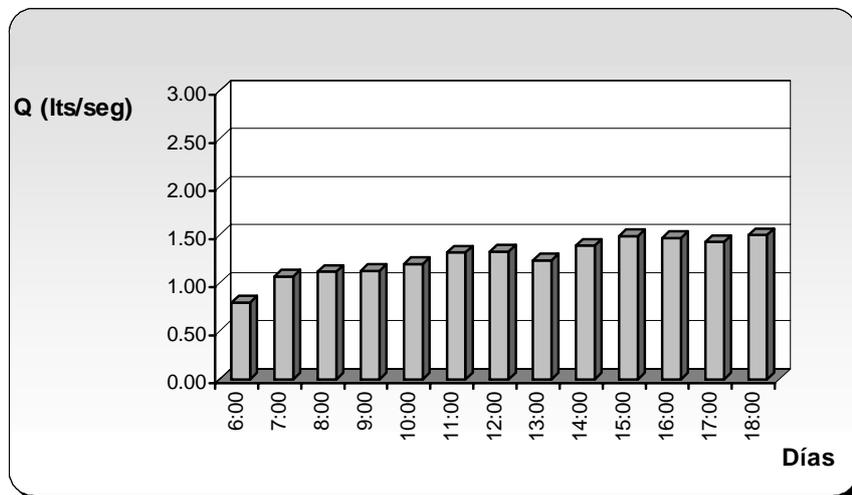
Tabla VI. Caudal promedio por hora a la salida

<i>Hora</i>	<i>Caudal promedio (lts/seg)</i>
6:00	0.80
7:00	1.07
8:00	1.12
9:00	1.13
10:00	1.20
11:00	1.32
12:00	1.33
13:00	1.24
14:00	1.39
15:00	1.49

Continúa

16:00	1.47
17:00	1.43
18:00	1.50

Figura 13. Gráfico de caudal promedio por hora a la salida



6.2.4 Caudales máximos y mínimos

En las Tablas VII y VIII se presentan los datos encontrados de caudal a la entrada y a la salida, observando fácilmente los caudales máximos y mínimos que se obtuvieron dentro de éste período de medición.

Determinando que el caudal máximo a la entrada se observó el día martes 11 de marzo del año 2003 a las 11:00 de la mañana y fue de 5.96 lts/seg, mientras que el caudal mínimo a la entrada durante el período aforado se observó el día sábado 15 de marzo a las 16:00 horas y fue de 0.49 lts/seg.

Mientras que el caudal máximo a la salida que se determinó, fue el día lunes 10 de marzo del año 2003 a las 14:00 horas y fue de 3.29 lts/seg, mientras que el caudal mínimo a la salida se observó el día domingo 16 de marzo a las 13:00 horas y fue de 0.13 lts/seg.

Tabla VII. Caudal máximo y mínimo a la entrada

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes
6:00		3.73		2.71		2.47	0.50	3.65
7:00		2.45	4.46	1.66	2.09	2.86	1.42	1.10
8:00		4.64	4.28	1.13	2.07	1.87	1.05	0.77
9:00		2.98	1.36	2.51	1.50	1.43	0.62	1.46
10:00	1.90	2.23	1.72	2.02	2.05	1.27	0.89	1.30
11:00	2.57	5.96	3.39	1.57	2.50	1.16	1.08	1.00
12:00	3.54	1.05	1.63	1.24	3.00	0.95	0.69	2.01
13:00	2.47	1.64	1.42	1.33	2.02	1.59	0.54	1.54
14:00	2.84	4.55	1.75	2.20	2.96	1.49	2.19	1.48
15:00	2.83	1.26	1.56	2.79	1.73	1.51	0.96	1.98
16:00	2.27	2.49	1.18	2.48	3.50	0.49	0.69	2.79
17:00	2.27	1.62	3.24	1.55	3.26	0.54	0.61	3.73
18:00	1.65	1.20	1.25	1.17	1.29		0.81	1.01

Tabla VIII. Caudal máximo y mínimo a la salida

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes
6:00		1.34		0.93		0.98	0.43	0.33
7:00		1.42	0.83	0.98	2.33	1.02	0.49	0.40
8:00		1.59	0.99	1.01	2.26	1.05	0.50	0.43
9:00		1.76	1.06	1.17	2.08	1.02	0.48	0.36
10:00		2.00	1.16	1.21	2.24	1.00	0.31	0.49
11:00	2.34	1.97	1.23	1.18	2.37	0.92	0.18	0.40
12:00	3.07	1.79	1.19	1.08	2.29	0.72	0.16	0.33
13:00	2.89	1.63	1.12	1.05	2.16	0.64	0.13	0.28
14:00	3.29	1.99	1.16	1.09	2.09	0.62	0.35	0.51
15:00	3.19	1.87	1.22	1.20	2.02	0.65	0.48	1.30
16:00	2.79	1.91	1.17	1.24	2.10	0.83	0.34	1.37
17:00	2.46	1.90	1.21	1.30	2.32	0.74	0.26	1.27
18:00	2.40	1.67	1.21	1.31	2.14		0.23	1.56

6.3 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en los aforos a la entrada y salida de la laguna, se analizarán para posteriormente poder plantear propuestas para mejorar el funcionamiento del sistema. Para este análisis se deben considerar las características propias de la instalación militar en que funcionan.

Además se debe considerar que se realizó de la semana del lunes 10 al lunes 17 de marzo del año 2003, en un período de 12 horas continuas por la mañana, de las 6 de la mañana a las 6 de la tarde, cada hora en este período.

El caudal de entrada a la laguna de estabilización está conformado por las aguas residuales provenientes de los módulos de cadetes, inodoros, mingitorios, duchas, lavamanos, cocina, comedor, lavandería, oficinas administrativas, aulas de cadetes, enfermería. Estas aguas residuales se depuran en una laguna facultativa primaria, siendo una unidad única.

El efluente es el caudal proveniente de la laguna de estabilización en éste caso particular, el cual ha sufrido una reducción de la DBO₅, DQO y otros parámetros de contaminación de las aguas residuales.

Los estudiantes de ingeniería sanitaria de la ERIS, ingenieros Álvaro Martínez y Nicolás Guzmán realizaron los análisis de calidad del agua en la entrada y en la salida de la laguna de la Escuela Politécnica, como parte de su estudio especial, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla IX. Análisis físico – químico

<i>Parámetro</i>	<i>Eficiencia (% remoción)</i>	<i>Observaciones</i>
DBO ₅	79.90 %	Remoción regular
DQO	80.90 %	Remoción adecuada
Sólidos sedimentables	88.95 %	Remoción alta
Sólidos suspendidos	79.91 %	Remoción adecuada
Nitratos	70.60 %	Remoción adecuada
Nitritos	54.29 %	Remoción regular
Oxígeno disuelto	0.35	Valor extremadamente bajo

pH	7.16	Rango adecuado
----	------	----------------

Tabla X. Análisis bacteriológico

<i>Parámetro</i>	<i>Eficiencia (% remoción)</i>	<i>Observaciones</i>
Coliformes fecales	79.27 %	Remoción media
Coliformes totales	81.70 %	Remoción media

Para un mayor análisis y conocimiento de éstos resultados se puede consultar en la ERIS (Martínez y Guzmán, 2003).

Como se aprecia en los resultados anteriores la calidad del agua es de regular a baja, por lo que los resultados se podrían mejorar al tomar las medidas correctivas en la operación y el mantenimiento.

Debido a las dimensiones de esta instalación militar es posible que pueda ampliarse el uso de las mismas, por lo que se sugiere darle el mantenimiento adecuado y realizar un estudio completo de las modificaciones que habría que hacer en estas instalaciones.

6.3.1 Variación de caudales

Se puede apreciar las variaciones que sufre el caudal respecto al tiempo, en su entrada como en su salida, especialmente en las Tablas VII y VIII. A su vez se pueden observar los promedios en 12 horas y los promedios por hora de los caudales medidos, en las tablas y gráficos respectivos.

Los caudales de entrada y salida de la planta de tratamiento son variables en las horas del día como en los días de la semana. Al analizar las causas del ascenso y el descenso del caudal, se pueden observar la relación directa que existe con las diferentes actividades en las que hacen uso del agua, tanto del

personal que labora en la Escuela Politécnica, como las actividades propias de los cadetes.

Se deben considerar que no se midieron los caudales en horarios nocturnos, los que serán menores y afectarán directamente al promedio de las 24 horas del día.

En el anexo de este trabajo se puede apreciar el horario de actividades del cuerpo de cadetes de la Tabla XVI a la XX. En la Tabla XI se puede apreciar algunas relaciones de los caudales máximos y mínimos respecto al caudal promedio, en el período que se realizó este estudio.

Tabla XI. Variación de caudales

	Entrada	Salida
Caudal promedio	1.97 lts/seg	1.29 lts/seg
Caudal máximo	5.96 lts/seg	3.29 lts/seg
Caudal máximo/ Caudal promedio	3.03	2.55
Caudal mínimo	0.49 lts/seg	0.13 lts/seg
Caudal mínimo/ Caudal promedio	0.25	0.10

6.3.2 Factor de retorno de aguas residuales

Se estimó el factor de retorno de aguas residuales por medio de la fórmula de caudal medio, resultando este factor el 78% del consumo de la instalación militar. Se considera que un 22% del agua no llega al sistema de alcantarillado, empleándose en el riego de grama, jardines y otros.

Se recomienda medir el caudal de agua potable y el caudal de aguas residuales durante un mayor período de tiempo y con instrumentos de medición adecuados, para comprobar el factor de retorno de aguas residuales.

6.3.3 Período de retención

Según lo que se determinó, de acuerdo a los cálculos respectivos, el período de retención es de 17 días aproximadamente. Tiempo en el que las aguas residuales se depuraran por un proceso biológico en la laguna de estabilización.

6.3.4 Acumulación de lodos

Por la falta de mantenimiento, los lodos que se producen en la laguna de estabilización se acumularon, provocando los problemas que se han descrito en este trabajo. Se midieron los lodos en diversos puntos como se puede apreciar en la figura 23, encontrando diferentes alturas de lodos desde 0.10 metros hasta 0.20 metros aproximadamente. Para poder extraer la vegetación que se encuentra dentro de la laguna, es necesario remover los lodos existentes y así lograr que la laguna funcione adecuadamente.

CONCLUSIONES

1. El consumo de agua potable estimado de la Escuela Politécnica se llegó a determinar que es de 221 litros diarios por habitante.
2. Se estimó que el 78% del agua de consumo (factor de retorno) aparece como agua residual en el sistema de alcantarillado.
3. El carácter de las actividades que se desarrollan en la institución dan lugar a que ocurran variaciones en el caudal diario y horario del sistema de alcantarillado.
4. Como consecuencia de la ausencia de operación y mantenimiento, en las instalaciones han proliferado diversas especies de artrópodos, roedores y aves, desarrollándose también la vegetación dentro y fuera de la laguna. Todo lo anterior ha contribuido a que los resultados que se esperaban de la laguna no sean los adecuados.
5. Se proponen algunas medidas correctivas tales como: construir obras de pretratamiento, instalar medidores de caudal, implementar una nueva laguna que funcione en paralelo para el mantenimiento. Previo a lo anterior deberá procederse a la remoción de vegetación y lodos y a la reparación y/o construcción de diques, tal como se propone en los planos respectivos.

6. Para lograr el funcionamiento adecuado de esta planta de tratamiento es indispensable contar con los recursos materiales y humanos necesarios, para la operación y el mantenimiento de la misma. De lo contrario su eficiencia no será la deseada.

RECOMENDACIONES

1. La institución deberá contar con los recursos materiales y humanos para la correcta operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de la Escuela Politécnica.
2. Para la adecuada operación y mantenimiento del sistema, la institución militar debe contar con personal calificado que se encargue específicamente del mantenimiento y operación de las instalaciones.
3. Deberá elaborarse un manual de operación y mantenimiento de las instalaciones. Para lo cual la institución podrá recurrir a la asesoría técnica de instituciones tales como la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como para la capacitación del personal de operación y mantenimiento.
4. Deberán gestionarse con los recursos necesarios para implementar las estructuras que se proponen en este trabajo.
5. Se debe dotar al sistema de tratamiento de aguas residuales con facilidades adicionales para su adecuado funcionamiento, tales como malla protectora, rótulos, bodega, caseta del operador y otros.
6. Esta laguna podrá utilizarse como planta piloto, en la que se midan los caudales y se analicen otros parámetros para complementar el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arriaza Ruiz, Víctor Manuel. Diseño, presupuesto y manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano del municipio de Villa Nueva. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 67 pp.
2. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). “Lagunas de estabilización para países en desarrollo” **Intercambio de Ideas y Métodos**. (México) (No. 62): 32.1968.
3. Collado Lara, Ramón. **Ejercicios prácticos en: “Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades”**. Santander, España: Universidad de Cantabria, 1992.138pp.
4. Cooperación Técnica República Federal de Alemania (GTZ). **Manual de Disposición de Aguas Residuales**. (Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales, Tomo I) Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1991. 442pp.
5. Fair, Gordon Maskew y otros. **Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales**. México: Editorial Limusa, S.A. 1973. 764pp.
6. Fox, Robert W y Alan T. McDonald. **Introducción a la Mecánica de Fluidos**. 2ª ed. México: Editorial McGraw – Hill / Interamericana de México,S.A. 1995, 916pp.
7. Giles, Ranald V. **Teoría y problemas de Mecánica de Fluidos e Hidráulica**. 2ª ed. Estados Unidos de América: Serie Schaum, 1962. 274pp.
8. Hernández Muñoz, Aurelio. **Depuración de Aguas Residuales**. 4ª ed. (Colección Seignor, No.9) España: Editorial Paraninfo, S.A., 1998, 1006pp.

9. Metcalf, Leonard y Harrison P. Eddy. **Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales**. 2ª ed. España: Editorial Labor, S.A., 1981.837pp.
10. Martínez Guillén, Álvaro Alberto y Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz. Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez. Estudio especial Maestría Ing. Sanitaria. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, ERIS, 2003. 103 pp.
11. Oakley, Stewart M. "Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras: Las Experiencias de Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala". **La Red Regional de Agua y Saneamiento para Centroamérica** (Tegucigalpa, Honduras) 55. 1998.
12. Salazar, Doreen."Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales" **Programa Ambiental Regional para Centroamérica PROARCA / SIGMA** (Guatemala): 76. 2003.
13. Unda Opazo, Francisco y Sergio M. Salinas Cordero. **Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública**. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. 1969, 870pp.
14. Yáñez Cossío, Fabián. **Lagunas de Estabilización. Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento**. Cuenca, Ecuador: Imprenta Monsalve, 1993.421pp.

APÉNDICES

Tabla XII. Planimetría de la laguna de estabilización

Estación	P.O.	Gradianes	Distancia	Observaciones
	0 – 1	204.492	1.40	Centro caja de drenajes
0	1	5.652	24.72	Estación
	1 – 1	208.494	2.08	Centro caja de drenajes
1	2	0.214	26.08	Estación
	2 – 1	374.008	31.80	Esquina laguna de estabilización
	2 – 2	36.878	80.80	Esquina laguna de estabilización
	2 – 3	65.334	70.40	Esquina laguna de estabilización
	2 – 4	78.234	62.50	Esquina laguna de estabilización
	2 – 5	139.744	13.30	Esquina laguna de estabilización
2	3	47.436	79.00	Estación
3	4	303.164	26.70	Estación
	4 – 1	367.766	17.10	Final salida de agua de la laguna
	4 – 2	372.53	10.75	Orilla de calle de terracería
	4 – 3	389.984	6.50	Salida de agua de la laguna
	4 – 4	90.308	5.60	Salida de agua de la laguna

Tabla XIII. Altimetría de la laguna de estabilización

Est.	+	H.I.	-	P.V.	Cota	Observaciones
B.M.# 0	0.72	100.720			100.000	
E-O 0+000.00			0.690		100.030	
0 – 1			0.728		99.992	Orilla caja
			0.880		99.840	Ø 6" llega
			1.100		99.620	Ø 6" sale
			0.720		100.000	Orilla caja
0+020.00			2.510		98.210	
E-1 0+024.95			2.890		97.830	
			3.000		97.720	Ø 6" llega
			3.250		97.470	Ø 6" sale
			2.890		97.830	Orilla caja
1 – 1			2.900		97.820	Centro caja
0+040.00			3.870		96.850	
P.V. # 1	0.800	97.662		3.858	96.862	
E-2 0+050.80			1.290		96.372	
2 – 1			2.920		94.742	
2 – 2			3.070		94.592	
2 – 3			3.070		94.592	
2 – 4			3.070		94.592	
2 – 5			3.070		94.592	
0+055.80			3.070		94.592	Orilla laguna
0+129.80			3.070		94.592	Orilla laguna
E-3 0+134.80			2.590		95.072	
P.V. # 2	1.480	96.548		2.594	95.068	
0+139.20			2.030		94.518	Orilla laguna
0+156.53			2.030		94.518	Orilla laguna

Continúa

0+160.00			1.320		95.228	
E-4 0+161.15			1.170		95.378	
4 – 1			2.790		93.758	Ø final que desemboca
4 – 2			2.600		93.948	Orilla calle
4 – 3			2.560		93.988	Orilla calle
4 – 4			2.050		94.498	Ø salida laguna

Tabla XIV. Caudales de entrada ordenados ascendentemente

No.	Q (Lts/seg)						
1	0.49	26	1.25	51	1.72	76	2.71
2	0.50	27	1.26	52	1.73	77	2.79
3	0.54	28	1.27	53	1.75	78	2.79
4	0.54	29	1.29	54	1.87	79	2.83
5	0.61	30	1.30	55	1.90	80	2.84
6	0.62	31	1.33	56	1.98	81	2.86
7	0.69	32	1.36	57	2.01	82	2.96
8	0.69	33	1.42	58	2.02	83	2.98
9	0.77	34	1.42	59	2.02	84	3.00
10	0.81	35	1.43	60	2.05	85	3.24
11	0.89	36	1.46	61	2.07	86	3.26
12	0.95	37	1.48	62	2.09	87	3.39
13	0.96	38	1.49	63	2.19	88	3.50
14	1.00	39	1.50	64	2.20	89	3.54
15	1.01	40	1.51	65	2.23	90	3.65
16	1.05	41	1.54	66	2.27	91	3.73
17	1.05	42	1.55	67	2.27	92	3.73
18	1.08	43	1.56	68	2.45	93	4.28
19	1.10	44	1.57	69	2.47	94	4.46
20	1.13	45	1.59	70	2.47	95	4.55
21	1.16	46	1.62	71	2.48	96	4.64
22	1.17	47	1.63	72	2.49	97	5.96
23	1.18	48	1.64	73	2.50		
24	1.20	49	1.65	74	2.51		
25	1.24	50	1.66	75	2.57		

Tabla XV. Caudales de salida ordenados ascendentemente

No.	Q (Lts/seg)						
1	0.13	26	0.72	51	1.20	76	2.00
2	0.16	27	0.74	52	1.21	77	2.02
3	0.18	28	0.83	53	1.21	78	2.08
4	0.23	29	0.83	54	1.21	79	2.09
5	0.26	30	0.92	55	1.22	80	2.10
6	0.28	31	0.93	56	1.23	81	2.14
7	0.31	32	0.98	57	1.24	82	2.16
8	0.33	33	0.98	58	1.27	83	2.24
9	0.33	34	0.99	59	1.30	84	2.26
10	0.34	35	1.00	60	1.30	85	2.29
11	0.35	36	1.01	61	1.31	86	2.32
12	0.36	37	1.02	62	1.34	87	2.33
13	0.40	38	1.02	63	1.37	88	2.34
14	0.40	39	1.05	64	1.42	89	2.37
15	0.43	40	1.05	65	1.56	90	2.40
16	0.43	41	1.06	66	1.59	91	2.46
17	0.48	42	1.08	67	1.63	92	2.79
18	0.48	43	1.09	68	1.67	93	2.89
19	0.49	44	1.12	69	1.76	94	3.07
20	0.49	45	1.16	70	1.79	95	3.19
21	0.50	46	1.16	71	1.87	96	3.29
22	0.51	47	1.17	72	1.90		
23	0.62	48	1.17	73	1.91		
24	0.64	49	1.18	74	1.97		
25	0.65	50	1.19	75	1.99		

Figura 14. Plano de localización

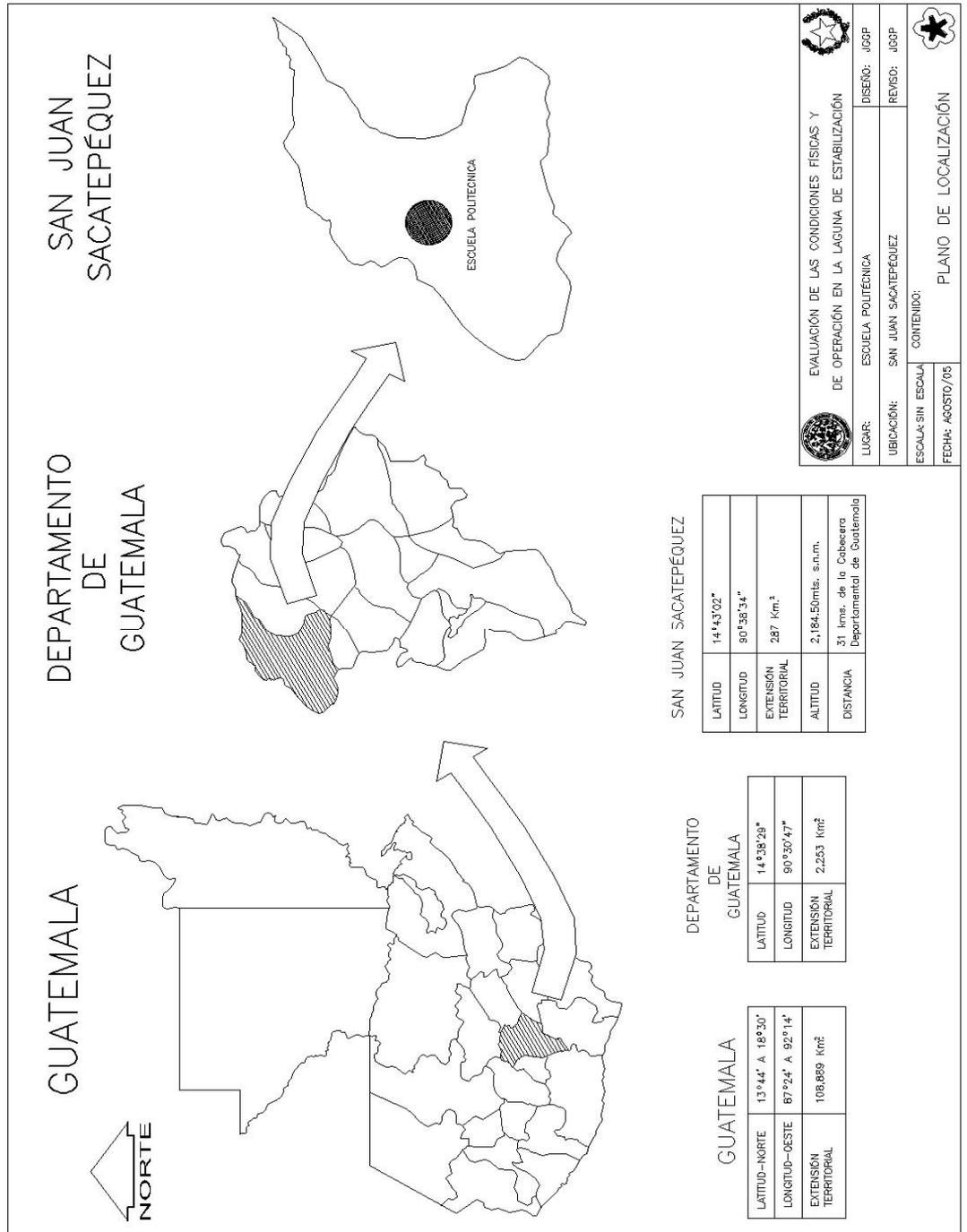


Figura 15. Plano de ubicación

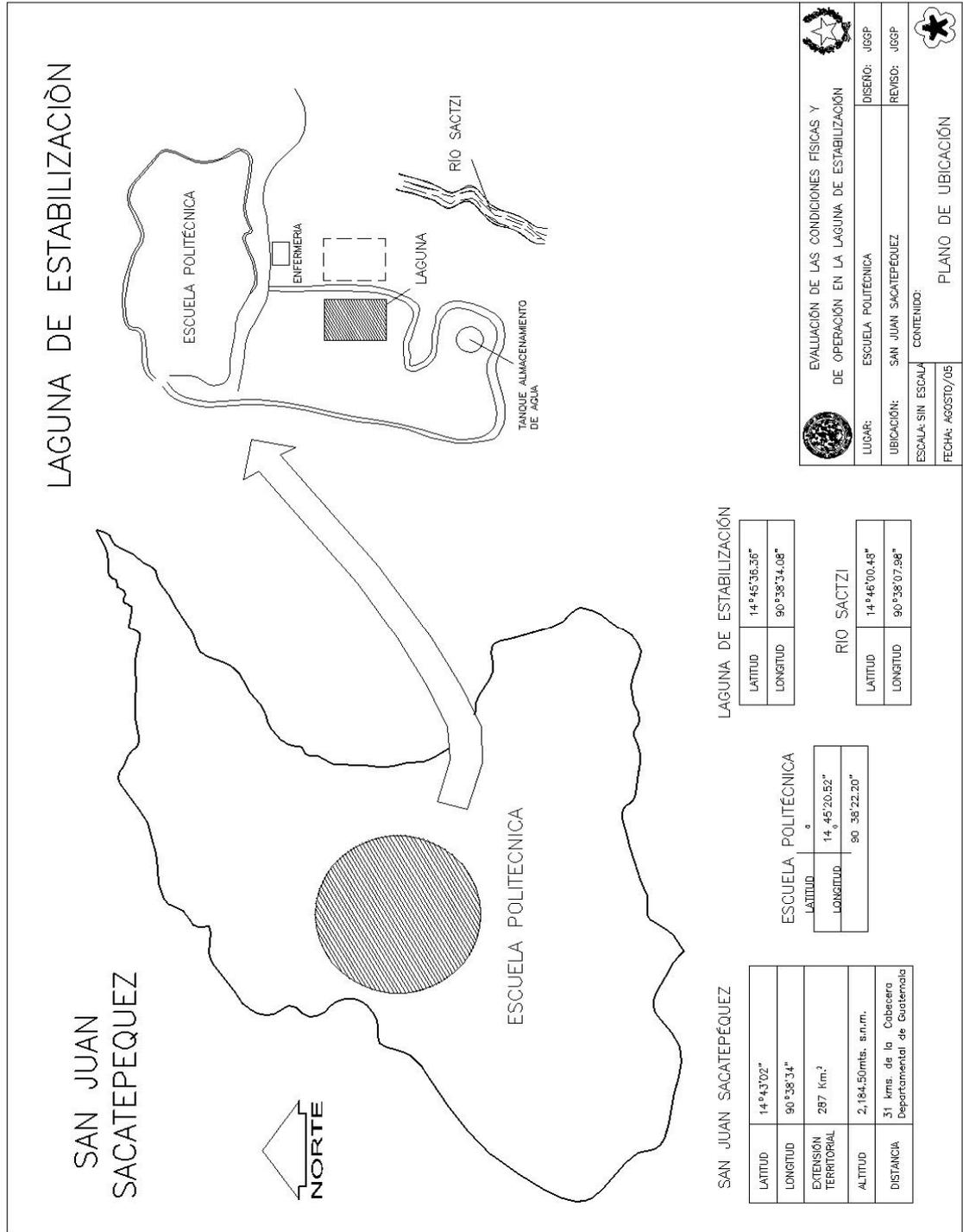


Figura 16. Planta general de la Escuela Politécnica

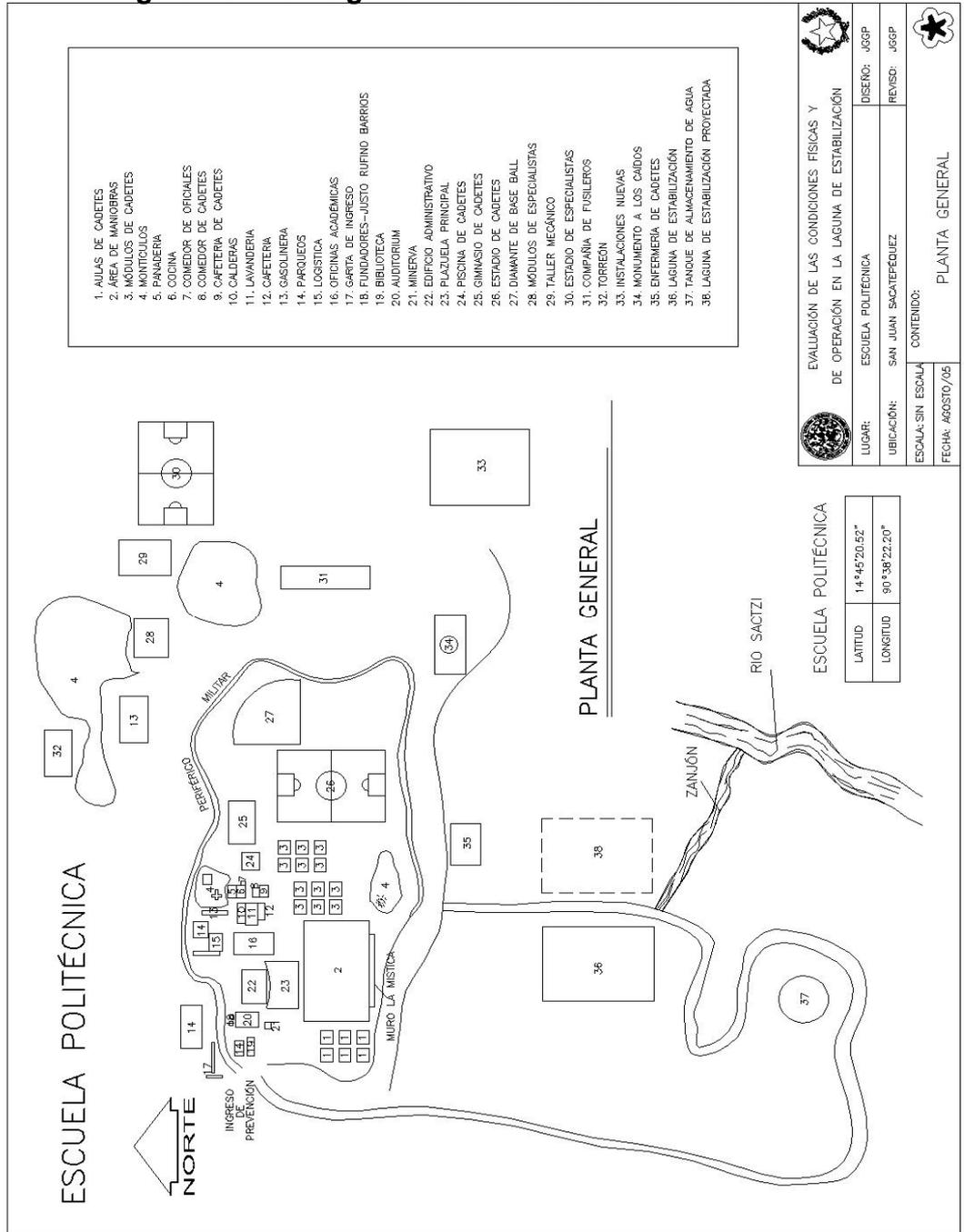


Figura 17. Planta de drenajes existentes

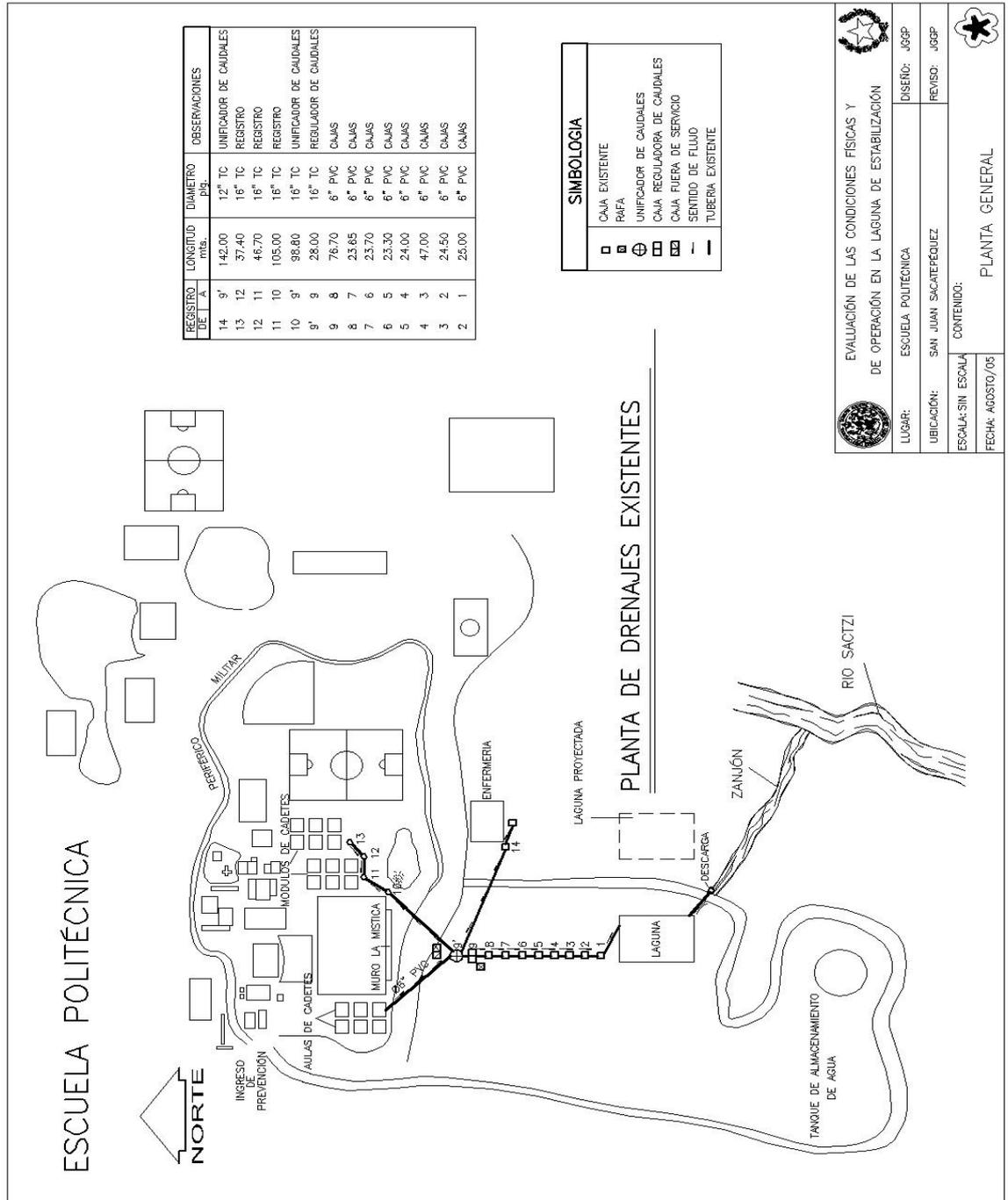


Figura 18. Planta de laguna de estabilización

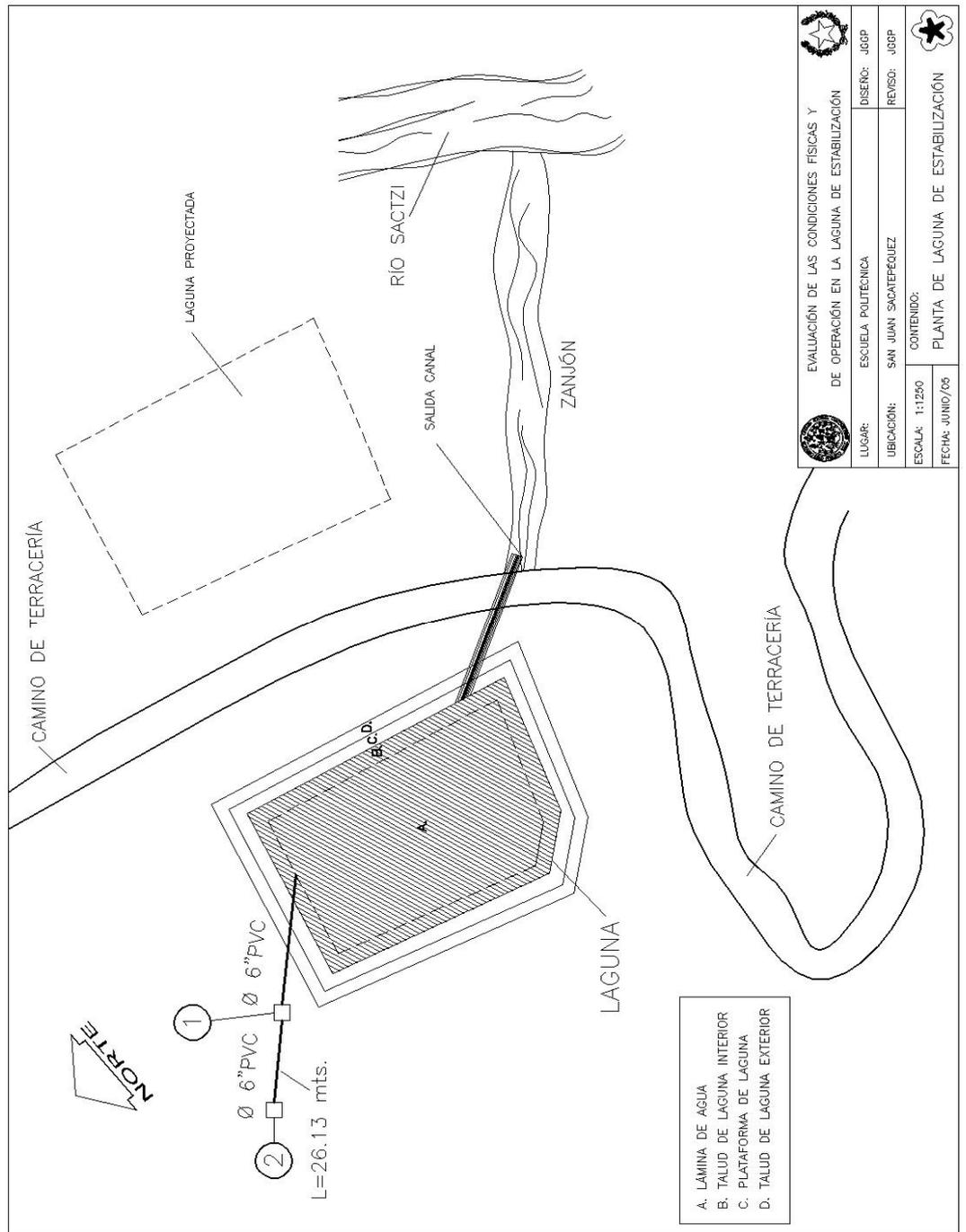


Figura 19. Perfil de laguna de estabilización

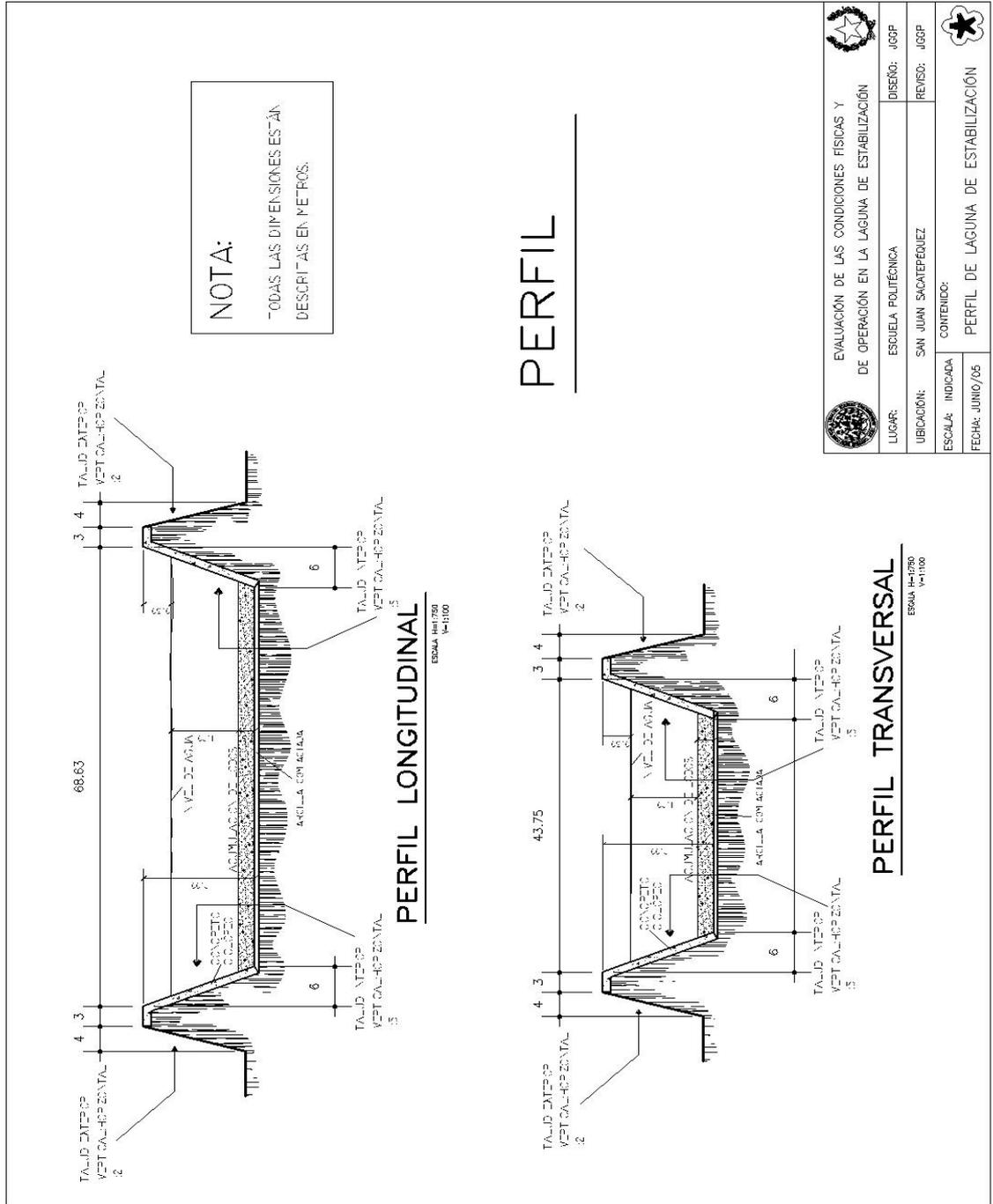


Figura 20. Detalle de talud interior

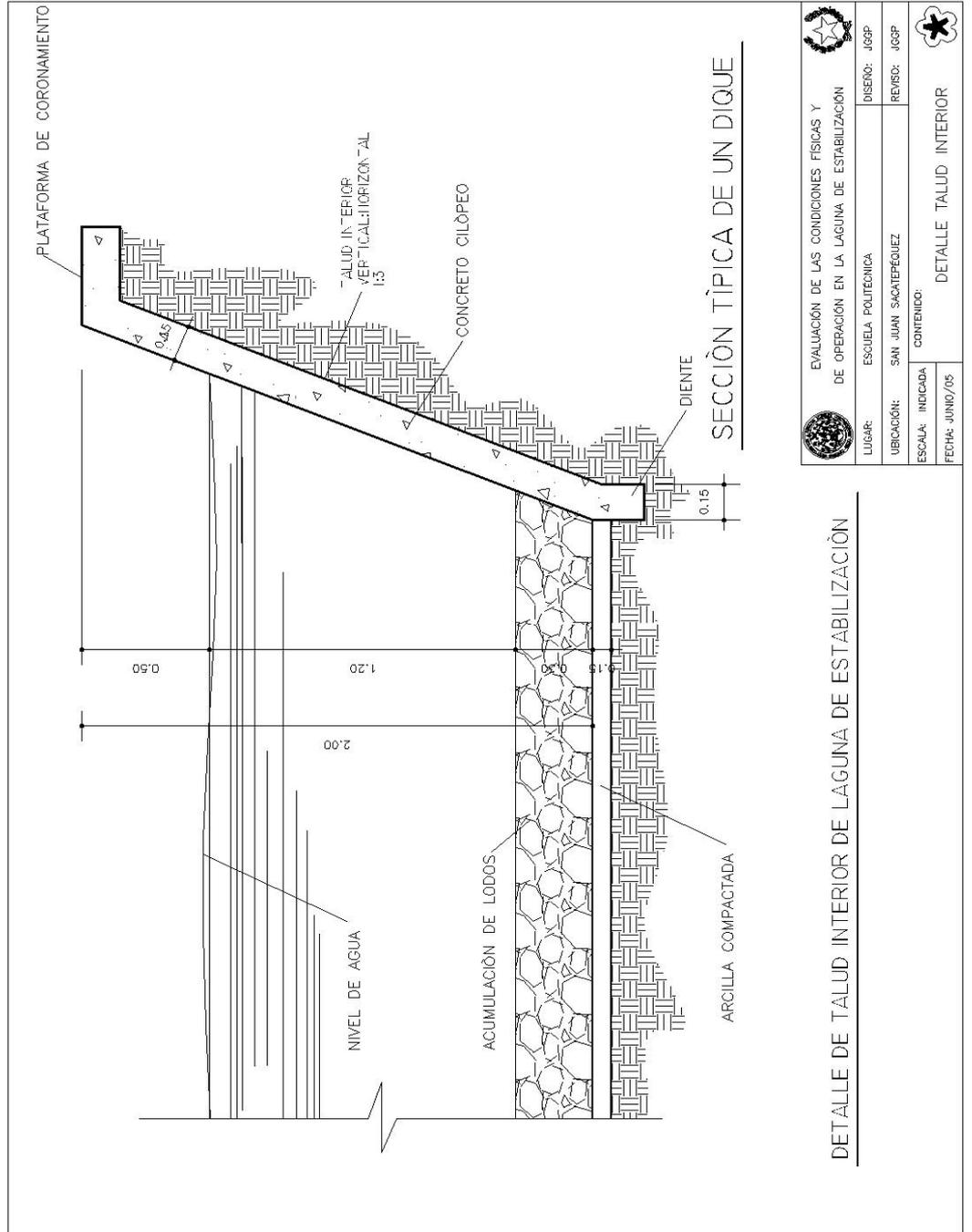


Figura 21. Detalle de estructura de entrada

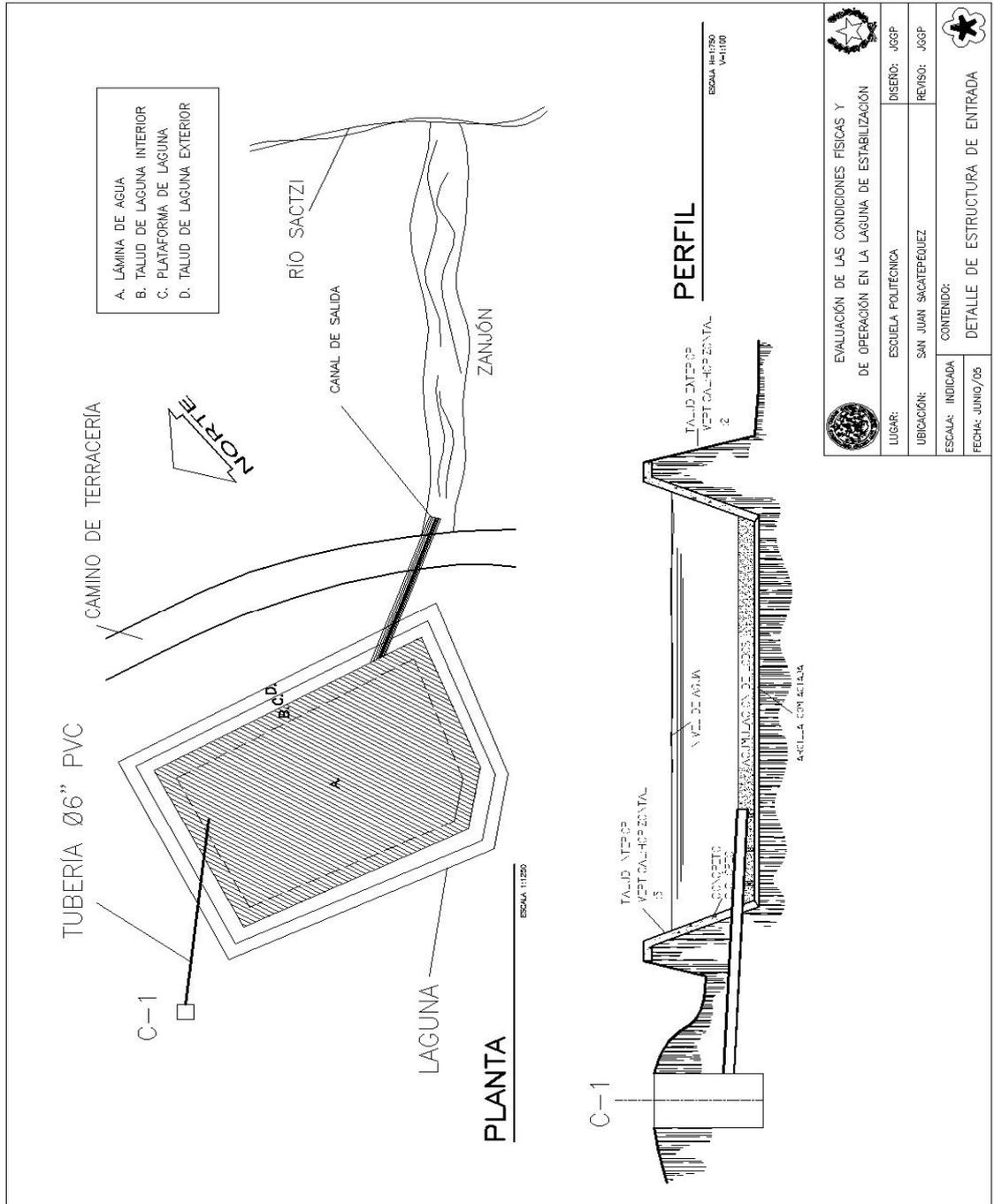
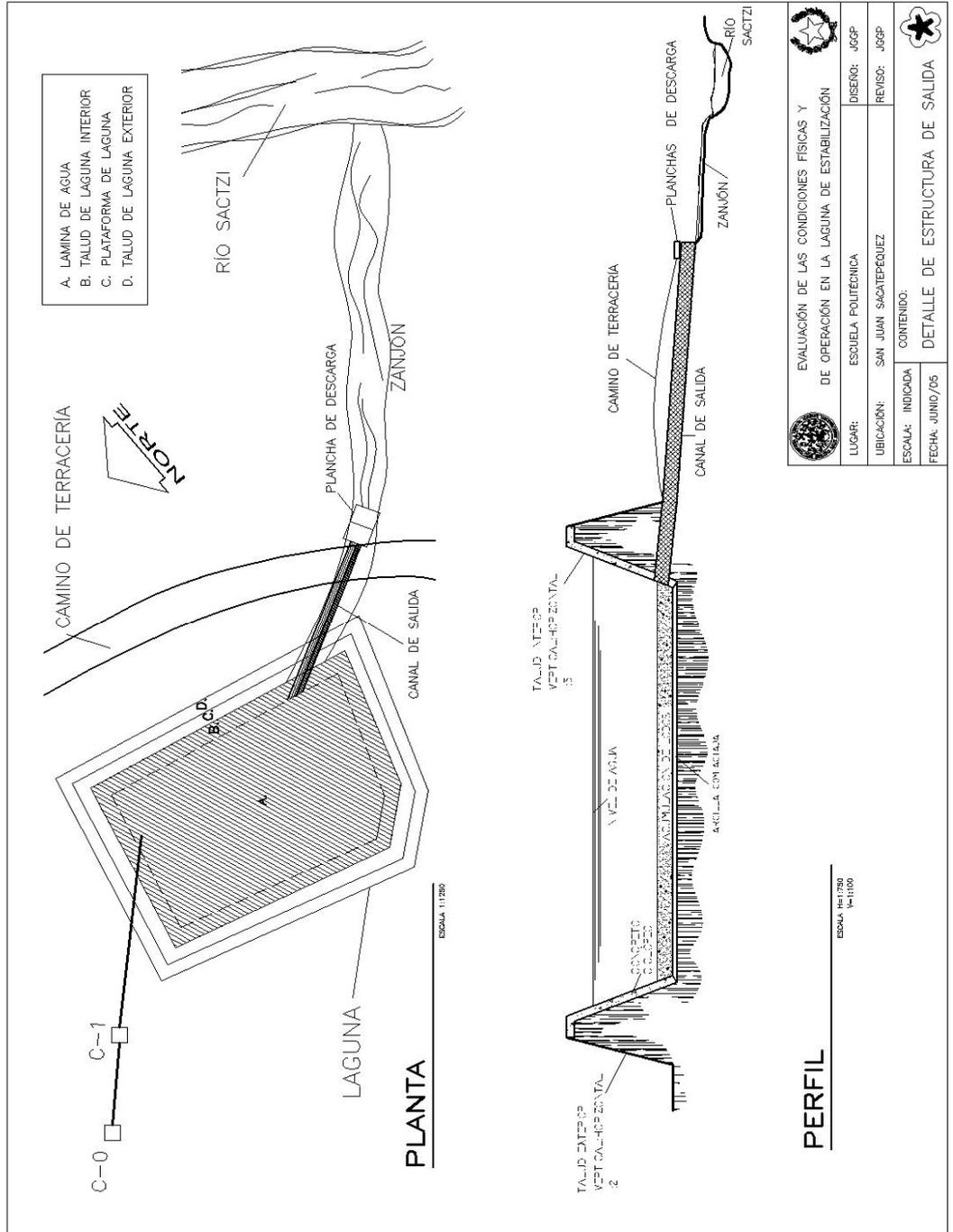
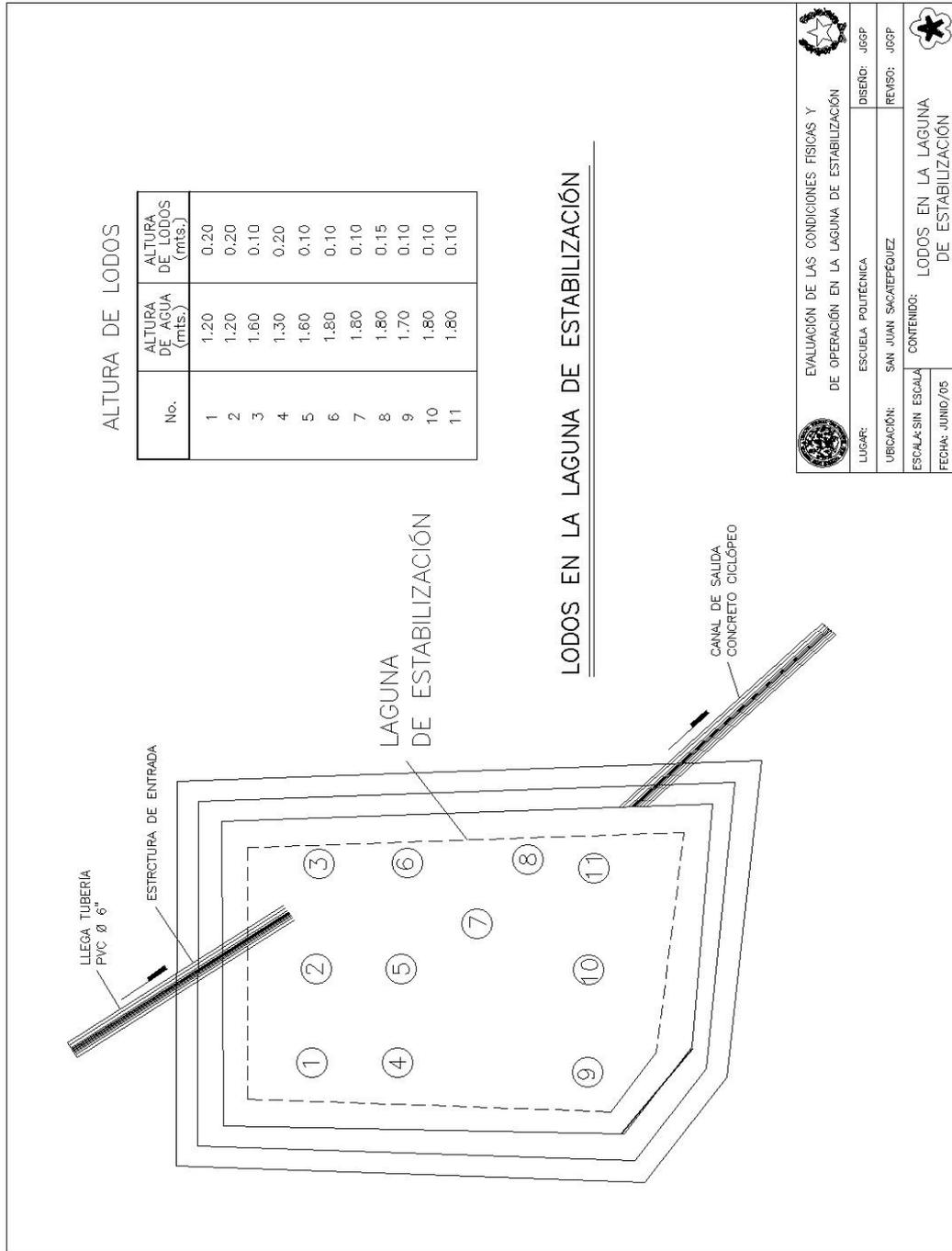


Figura 22. Detalle de estructura de salida



 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN	
LUGAR:	ESUELA POLITÉCNICA
UBICACIÓN:	SAN JUAN SACATEPEC
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JUNIO/05
DISEÑO: JGGP REVISO: JGGP	
CONTENIDO: DETALLE DE ESTRUCTURA DE SALIDA	

Figura 23. Lodos en la laguna de estabilización



			
EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE OPERACIÓN EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN			
LUGAR:	ESCUELA POLITÉCNICA	DISEÑO:	JGSP
VIBICACIÓN:	SAN JUAN SACATEPEQUEZ	REMSO:	JGSP
ESCALA: SIN ESCALA	CONTENIDO: LODOS EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN		
FECHA: JUNIO/05			

Figura 24. Detalle de canal rejilla - desarenador

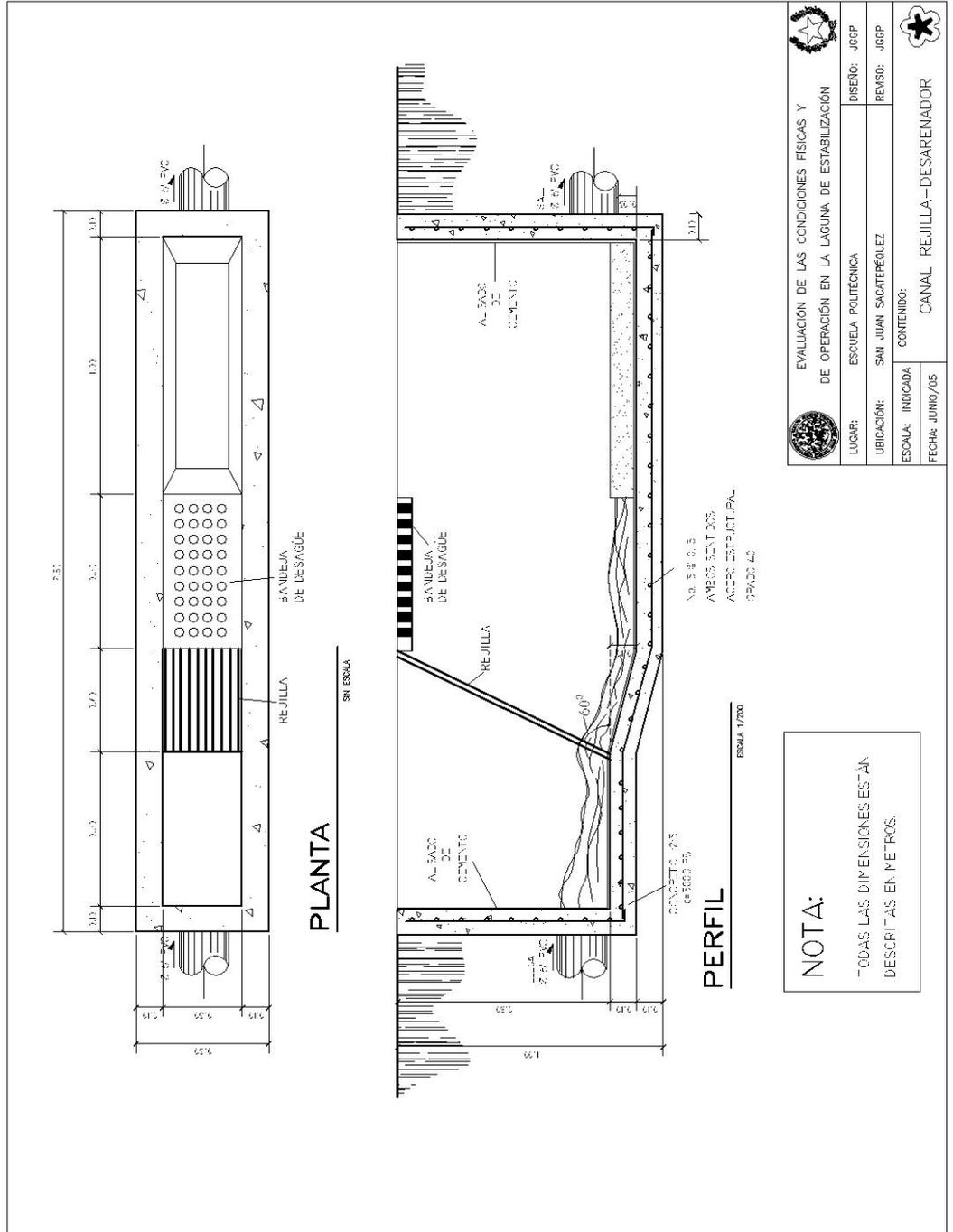


Figura 25. Detalle de rejilla

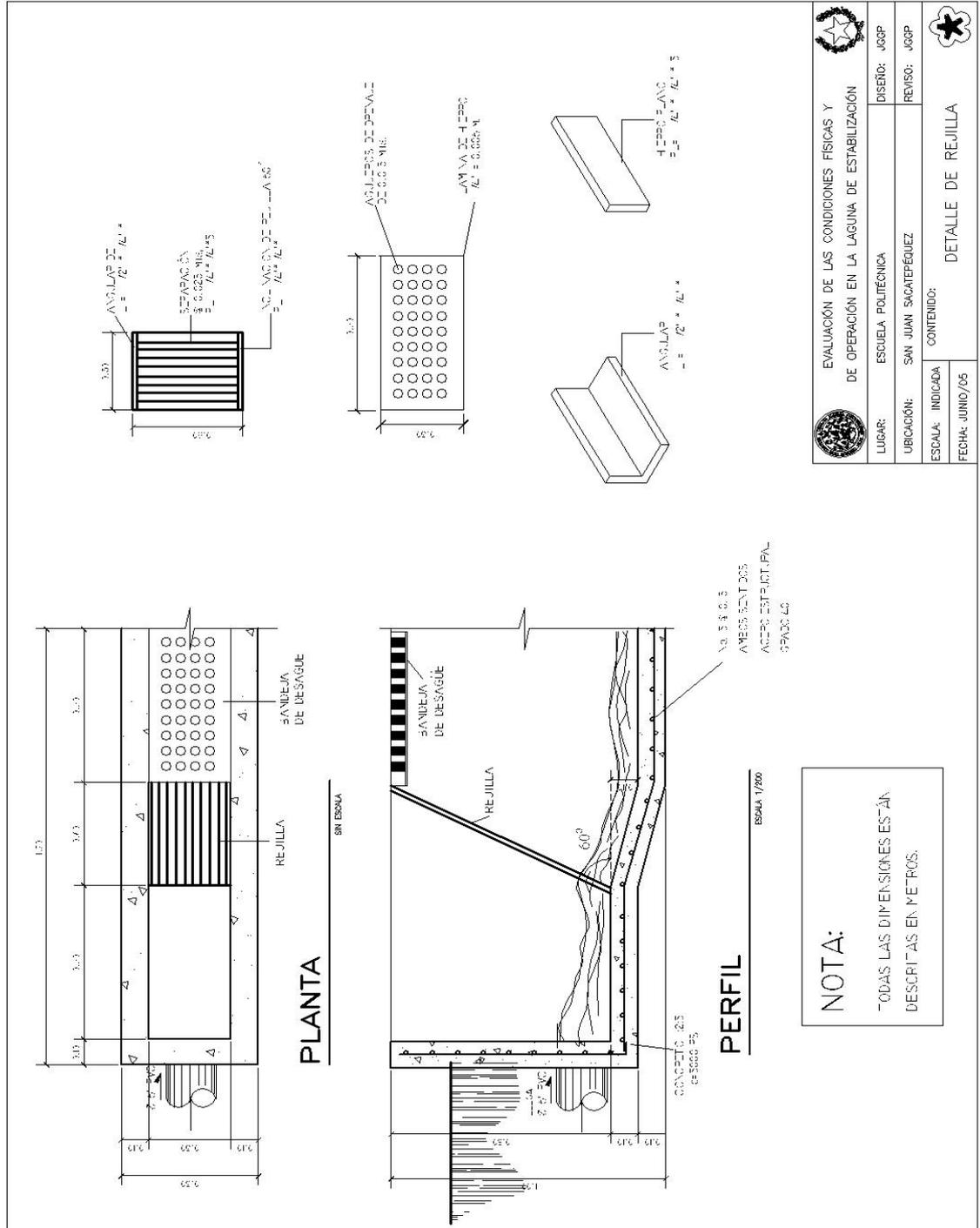


Figura 26. Detalle de desarenador

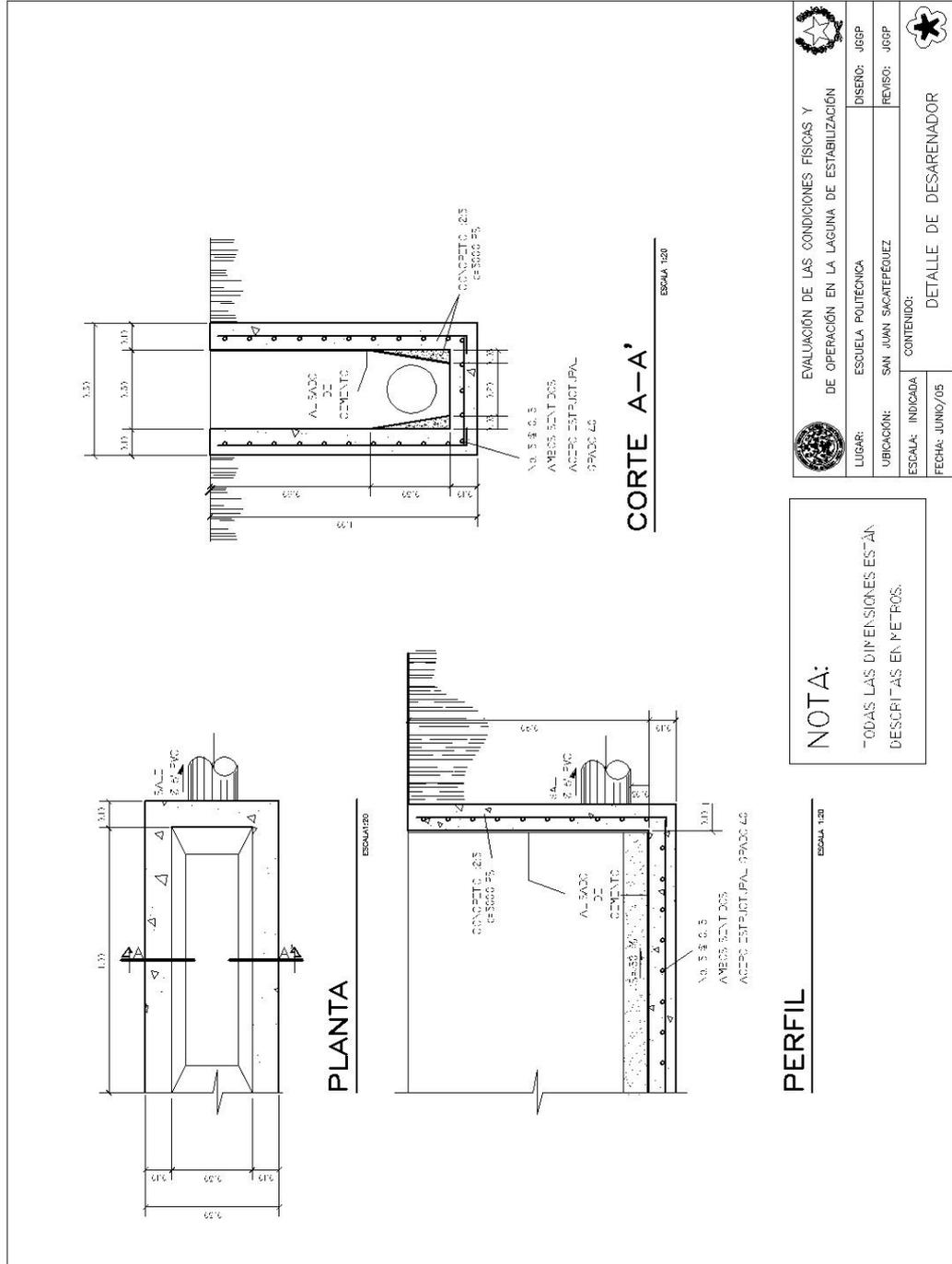


Figura 27. Detalle de la caja de vertedero

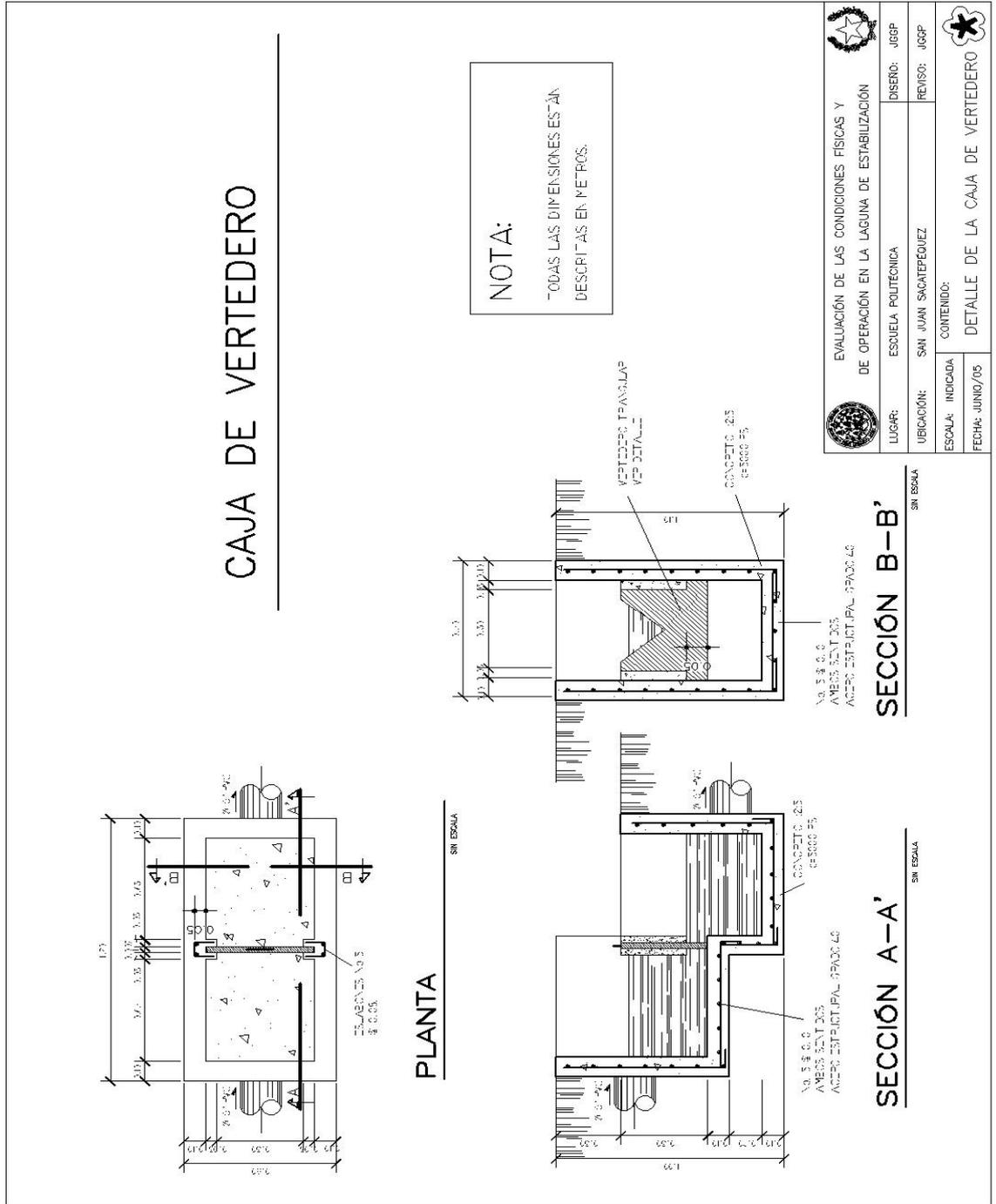
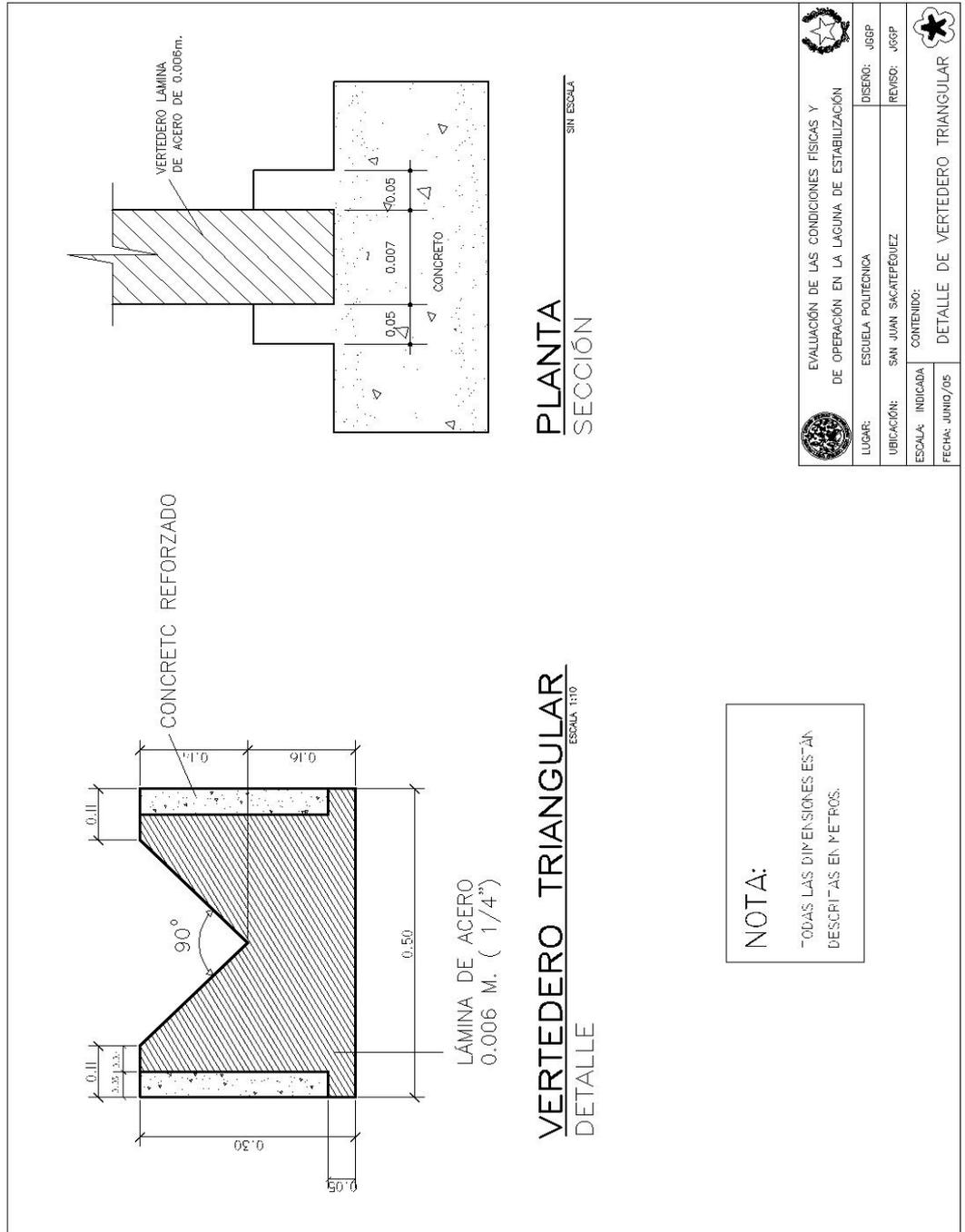


Figura 28. Detalle de vertedero triangular



ANEXOS

Tabla XVI. Horario del cuerpo de cadetes días lunes, martes, miércoles

4:45 - 4:55	Hrs. Diana y estado de fuerza.
4:55 - 5:35	Hrs. Desarrollo de entrenamiento físico.
5:35 - 6:15	Hrs. Baño y aseo personal.
6:15 - 7:10	Hrs. Desayuno.
7:15 - 7:40	Hrs. Formación y desfile a clases.
7:45 - 8:35	Hrs. Primer período.
8:35 - 8:40	Hrs. Descanso.
8:40 - 9:30	Hrs. Segundo período.
9:30 - 9:35	Hrs. Descanso.
9:35 - 10:25	Hrs. Tercer período.
10:25 - 10:40	Hrs. Descanso largo (champurrada).
10:40 - 11:30	Hrs. Cuarto período.
11:30 - 11:35	Hrs. Descanso.
11:35 - 12:20	Hrs. Quinto período (finalizan clases).
12:20 - 12:30	Hrs. Formación.
12:30 - 13:20	Hrs. Almuerzo.
13:30 - 14:20	Hrs. Formación y clases militares.
14:30 - 16:15	Hrs. Clases deportivas.
16:30 - 17:30	Hrs. Instrucción de orden cerrado.
17:45 - 18:00	Hrs. Formación y honores.
18:05 - 18:50	Hrs. Cena.
19:00 - 20:45	Hrs. Estudio obligatorio.
20:45 - 21:00	Hrs. Lista de retreta.
21:00 - 22:00	Hrs. Estudio voluntario 1er. Grupo y recreación.
22:00	Hrs. Silencio para recreación.
22:00 - 23:00	Hrs. Estudio voluntario 2do. Grupo.
23:00	Hrs. Silencio total.

Tabla XVII. Horario del cuerpo de cadetes día jueves

4:45 - 4:55	Hrs. Diana y estado de fuerza.
4:55 - 5:35	Hrs. Desarrollo de entrenamiento físico.
5:35 - 6:15	Hrs. Baño, aseo personal e instalaciones.
6:15 - 7:10	Hrs. Desayuno.
7:15 - 7:40	Hrs. Formación y desfile a clases.
7:45 - 8:35	Hrs. Primer período.
8:35 - 8:40	Hrs. Descanso.
8:40 - 9:30	Hrs. Segundo período.
9:30 - 9:35	Hrs. Descanso.
9:35 - 10:25	Hrs. Tercer período.
10:25 - 10:40	Hrs. Descanso largo (chamurrada).
10:40 - 11:30	Hrs. Cuarto período.
11:30 - 11:35	Hrs. Descanso.
11:35 - 12:20	Hrs. Quinto período (finalizan clases).
12:20 - 12:30	Hrs. Formación.
12:30 - 13:20	Hrs. Almuerzo.
13:30 - 14:15	Hrs. Disponible al Comandante de Cuerpo.
14:30 - 15:45	Hrs. Entrenamiento para selecciones deportivas.
16:00 - 16:05	Hrs. Formación y desfile a clases militares.
16:05 - 16:55	Hrs. Primer período.
16:55 - 17:00	Hrs. Descanso.
17:00 - 17:50	Hrs. Segundo período.
17:55 - 18:00	Hrs. Formación y honores.
18:05 - 18:50	Hrs. Cena.
18:55 - 19:00	Hrs. Formación y desfile a clases militares.
19:00 - 19:55	Hrs. Primer período.
19:55 - 20:00	Hrs. Descanso.
20:00 - 20:45	Hrs. Segundo período.
20:45 - 21:00	Hrs. Lista de retreta.
21:00 - 22:30	Hrs. Estudio voluntario y entrega ropa.
22:30	Hrs. Silencio.
22:00 - 23:00	Hrs. Estudio voluntario 2do. Grupo.
23:00	Hrs. Silencio.

Tabla XVIII. Horario del cuerpo de cadetes día viernes

4:45 - 4:55	Hrs. Diana y estado de fuerza.
4:55 - 5:35	Hrs. Desarrollo de entrenamiento físico.
5:35 - 6:15	Hrs. Baño, y aseo personal.
6:15 - 7:10	Hrs. Desayuno.
7:15 - 7:40	Hrs. Formación y desfile a clases militares.
7:45 - 8:35	Hrs. Primer período.
8:35 - 8:40	Hrs. Descanso.
8:40 - 9:30	Hrs. Segundo período.
9:30 - 9:35	Hrs. Descanso.
9:35 - 10:25	Hrs. Tercer período.
10:25 - 10:40	Hrs. Descanso largo (champurrada).
10:40 - 11:30	Hrs. Cuarto período.
11:30 - 11:35	Hrs. Descanso.
11:35 - 12:20	Hrs. Quinto período (finalizan clases).
12:20 - 12:30	Hrs. Formación.
12:30 - 13:20	Hrs. Almuerzo.
13:25 - 13:35	Hrs. Formación y desfile a clases.
13:35 - 14:25	Hrs. Primer período.
14:25 - 14:35	Hrs. Descanso.
14:35 - 15:25	Hrs. Segundo período.
15:25 - 15:30	Hrs. Descanso.
15:35 - 16:25	Hrs. Tercer período.
16:25 - 17:00	Hrs. Preparación formación por destinos.
17:00 - 17:25	Hrs. Formación por destinos y revista francos.
17:30 - 18:00	Hrs. Salida de francos.
18:00 - 18:50	Hrs. Cena.
19:00 - 20:45	Hrs. Continúa formación por destinos.
20:45 - 21:00	Hrs. Lista de retreta.
21:00 - 22:30	Hrs. Recreación película.
23:00	Hrs. Silencio.

Tabla XIX. Horario del cuerpo de cadetes día sábado

5:25 - 5:30	Hrs.	Diana y estado de fuerza.
5:30 - 6:40	Hrs.	Piscina, clavados y aseo personal.
6:45 - 7:45	Hrs.	Desayuno y limpieza de áreas.
7:45 - 8:00	Hrs.	Formación por destinos.
8:00 - 12:00	Hrs.	Cumplimiento de arrestos.
12:00 - 13:45	Hrs.	Almuerzo y descanso.
13:45 - 14:00	Hrs.	Formación por destinos.
14:00 - 17:45	Hrs.	Cumplimiento de arrestos.
17:55 - 18:00	Hrs.	Formación por destinos y honores.
18:05 - 18:45	Hrs.	Cena.
19:00 - 20:45	Hrs.	Continua cumplimiento de arresto.
20:45 - 21:00	Hrs.	Formación de retreta.
21:00 - 22:00	Hrs.	Recreación.
22:00	Hrs.	Silencio.

Tabla XX. Horario del cuerpo de cadetes día domingo

5:25 - 5:30	Hrs.	Diana y estado de fuerza.
5:30 - 6:40	Hrs.	Aseo personal.
6:45 - 7:45	Hrs.	Desayuno y limpieza de áreas.
7:45 - 8:00	Hrs.	Formación por destinos.
8:00 - 11:45	Hrs.	Cumplimiento de arrestos.
12:00 - 13:40	Hrs.	Almuerzo y preparación visitas.
13:45 - 14:00	Hrs.	Formación para visitas.
14:00 - 17:45	Hrs.	Visitas.
17:50 - 18:10	Hrs.	Formación y honores.
18:10 - 19:00	Hrs.	Cena.
19:00 - 20:40	Hrs.	Libre.
20:45 - 21:00	Hrs.	Formación de retreta y novedades de franco.
21:00 - 21:45	Hrs.	Disponibles al Comandante de Cuerpo.
22:00	Hrs.	Silencio.