



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

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
“INGENIERO ARTURO PAZOS”

José Rafael Beltran Juárez

Asesorado por el MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Célis

Guatemala, junio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
“INGENIERO ARTURO PAZOS”

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

JOSÉ RAFAEL BELTRAN JUÁREZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. PEDRO CIPRIANO SARAVIA CÉLIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| Decano | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| Vocal I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| Vocal II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| Vocal III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| Vocal IV | Br. Luis Pedro Ortíz de León |
| Vocal V | Br. José Alfredo Ortíz Herincx |
| Secretaria | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| Decano | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| Examinador | Inga. Sherry Lucrecia Ordoñez Castro |
| Examinador | Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez |
| Examinador | Ing. Diego Velásquez Jofre |
| Secretaria | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

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:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
“INGENIERO ARTURO PAZOS”,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de septiembre de 2008.


José Rafael Beltrán Juárez



Guatemala, 30 de octubre de 2009

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
JEFE
Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Aguilar:

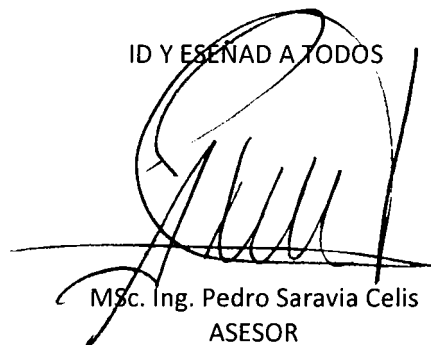
Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "INGENIERO ARTURO PAZOS", elaborado con el estudiante José Rafael Beltran Juárez, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante Beltran Juárez satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo que recomiendo su aprobación.

Sin otro particular me es grato suscribirme de usted.

Cordialmente,

ID Y ESEÑAD A TODOS



Msc. Ing. Pedro Saravia Celis
ASESOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
1 de marzo de 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Estimado Ingeniero.

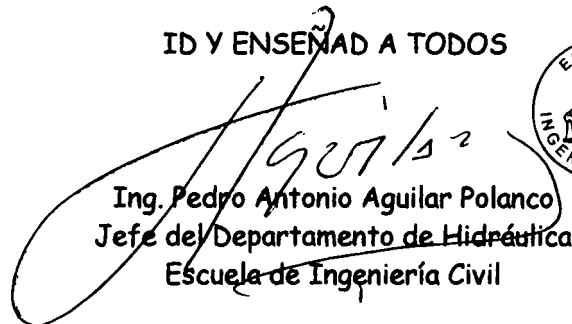
Atentamente y por este medio, envío a usted el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante **José Rafael Beltran Juárez**, con el título **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "INGENIERO ARTURO PAZOS"** asesorado por el Ing. Pedro Cipriano Saravia Célis.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo extendiendo la **APROBACIÓN DEL MISMO** 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

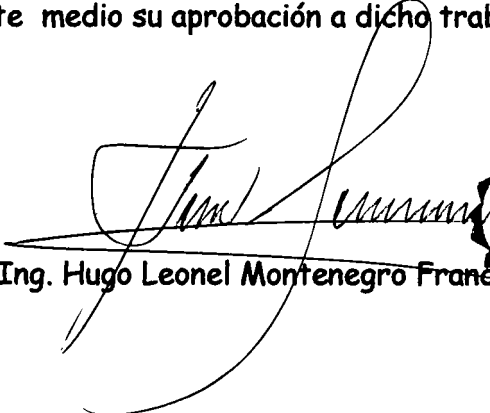

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil




FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesor Ing. Pedro Saravia Celis y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante José Rafael Beltran Juárez, titulado PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "INGENIERO ARTURO PAZOS", da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio de 2010

/bbdeb.



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: **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “INGENIERO ARTURO PAZOS”**, presentado por el estudiante universitario **José Rafael Beltrán Juárez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, junio de 2010

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|--|---|
| Dios | “Yo soy el que soy” (Éxodo 3, 13-14) |
| Asesor | Msc. Ing. Pedro Saravia Celis, por su ayuda y guía, sin la cual no podría haber realizado este trabajo. |
| Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria | Especialmente a los ingenieros Teofilo Álvarez, Guillermo Melini, Joram Gil y Pedro Aguilar Polanco, por su valiosísima colaboración. |
| Centro de Investigaciones de Ingeniería | A los ingenieros Dilma Mejicanos, Evelyn Morales, Pablo de León y Omar Medrano, a todos los laboratoristas. |
| Jefes y compañeros de labores | Por su comprensión y el tiempo que me facilitaron para la elaboración de este trabajo. |
| Maestros y catedráticos | Por sus enseñanzas y ejemplos para alcanzar este logro. |

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Andrea Viviana y José Pedro

Por darme el don de la vida.

**Mis abuelos, mis tías
y hermana**

Victoria, Rafael, Silvia, Regina, Gabriela, Astrid y Andrea

Victoria

Por tantas muestras de su amor.

Mi familia

Por todo el cariño recibido.

**Mis amigos y
compañeros**

Por todas las alegrías y su apoyo, especialmente en los momentos difíciles.

**Colegio San
Sebastián**

Formador de mi personalidad.

**Universidad de San
Carlos de
Guatemala**

“Grande entre las que Enseñan”

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1 CONCEPTOS GENERALES | |
| 1.1 Precipitación | 1 |
| 1.2 Intensidad | 1 |
| 1.3 Relación de precipitación – intensidad | 2 |
| 1.4 Fórmula de la intensidad | 2 |
| 1.5 Fórmula de Manning | 3 |
| 1.6 Método racional para el cálculo del escurrimiento | 4 |
| 1.6.1 Coeficiente del escurrimiento | 5 |
| 1.6.2 Tiempo de concentración | 7 |
| 1.6.3 Período de retorno | 9 |
| 1.7 Estabilidad de taludes | 11 |
| 1.7.1 Falla plana | 11 |
| 1.7.2 Falla en cuña | 13 |
| 1.7.3 Método de Fellenius para falla rotacional | 16 |
| 1.8 Estructuras de descarga | 18 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2 | DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ING. ARTURO PAZOS | |
| 2.1 | Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos | 19 |
| 2.2 | Descripción del sistema de drenaje pluvial | 22 |
| 2.3 | Evaluación de la situación actual del sistema de drenaje pluvial | 22 |
| 2.4 | Información meteorológica | 25 |
| 3 | PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ING. ARTURO PAZOS | |
| 3.1 | Parámetros de diseño | 29 |
| 3.1.1 | Área de los terrenos | 30 |
| 3.1.2 | Longitud del cauce | 32 |
| 3.1.3 | Desnivel del cauce | 32 |
| 3.1.4 | Tiempo de concentración | 33 |
| 3.1.5 | Coefficiente de escorrentía | 34 |
| 3.1.6 | Período de retorno a utilizar | 34 |
| 3.1.7 | Determinación de la precipitación | 35 |
| 3.1.8 | Intensidad | 35 |
| 3.1.9 | Velocidad | 36 |
| 3.1.10 | Cálculo del caudal pluvial | 36 |
| 3.1.11 | Pendiente y caudal a desfogar | 37 |
| 3.1.12 | Coefficiente de rugosidad | 38 |
| 3.1.13 | Radio hidráulico | 38 |
| 3.1.14 | Sección mínima del canal | 41 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2 | Diseño hidráulico | 46 |
| 3.3 | Método alternativo de diseño hidráulico | 46 |
| 3.4 | Diseño de estructuras de descarga | 48 |
| 3.4.1 | Canal de descarga | 48 |
| 3.4.2 | Análisis de la estabilidad del talud | 51 |
| 3.4.3 | Obras de protección de talud | 55 |
| 3.4.4 | Recomendaciones para establecer barreras vivas | 58 |
| 3.5 | Costos del drenaje pluvial | 59 |
| | CONCLUSIONES | 61 |
| | RECOMENDACIONES | 63 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 65 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 67 |
| | APÉNDICES | 71 |
| | ANEXOS | 83 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Diagramas de fallas planas | 13 |
| 2 | Ángulos de planos en falla por cuña | 15 |
| 3 | Diagrama de falla por cuña | 15 |
| 4 | Diagrama de falla rotacional | 17 |
| 5 | Diagrama de dovela en falla rotacional | 18 |
| 6 | Localización de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos | 20 |
| 7 | Sistemas de tratamiento de la planta Ing. Arturo Pazos | 21 |
| 8 | Talud con deslizamiento, vista desde la corona | 23 |
| 9 | Talud con deslizamiento, vista desde la base | 24 |
| 10 | Camino de acceso a laguna de lirios | 24 |
| 11 | Curva de relación de duración, intensidad y frecuencia | 25 |
| 12 | Diagrama de las áreas de los terrenos | 31 |
| 13 | Características hidráulicas del canal trapezoidal | 39 |
| 14 | Características hidráulicas del canal triangular | 40 |
| 15 | Perfil del terreno y tubería de PVC | 42 |
| 16 | Perfil del terreno y tubería de concreto | 43 |
| 17 | Perfil de terreno y canal trapezoidal | 44 |
| 18 | Perfil de terreno y canal triangular | 45 |
| 19 | Ejemplo del canal de descarga | 51 |
| 20 | Realización de medidas topográficas | 52 |
| 21 | Ensayo de corte triaxial | 52 |
| 22 | Ensayo de índice de permeabilidad | 53 |
| 23 | Ejemplo de la estabilización de taludes por cultivos | 56 |

| | | |
|----|--|----|
| 24 | Detalle de la estabilización de taludes por cultivos | 57 |
| 25 | Diagrama de la estabilización de taludes por cultivos | 57 |
| 26 | Estratigrafía del suelo del talud | 71 |
| 27 | Lagunas de estabilización | 71 |
| 28 | Laguna de lirios | 72 |
| 29 | Toma de muestras de suelo | 72 |
| 30 | Informe del ensayo de corte directo | 73 |
| 31 | Informe del ensayo de permeabilidad | 74 |
| 32 | Informe del ensayo granulométrico | 75 |
| 33 | Informe del ensayo de límites de Atterberg | 76 |
| 34 | Plano de distribución de áreas | 77 |
| 35 | Plano del canal de descarga | 79 |
| 36 | Plano de detalles del canal de descarga | 81 |
| 37 | Sección de hoja cartográfica número 3, ciudad de Guatemala | 83 |
| 38 | Mapa de precipitaciones en Guatemala | 84 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I | Coefficiente de escorrentía C | 6 |
| II | Tiempos de entrada a colectores | 9 |
| III | Períodos de retorno según riesgo y vida útil de la obra | 10 |
| IV | Parámetros de ajuste de las curvas | 26 |
| V | Intensidad de precipitación en la ciudad de Guatemala | 27 |
| VI | Distribución de áreas tributarias | 30 |
| VII | Distribución de cauces | 32 |
| VIII | Desnivel de cauces | 33 |
| IX | Tiempos de concentración de los cauces | 34 |
| X | Distribución de caudales por área | 37 |
| XI | Pendientes de los cauces | 37 |
| XII | Coefficientes de rugosidad utilizados | 38 |
| XIII | Secciones mínimas del conductor | 41 |
| XIV | Verificación de velocidades para tubería de cloruro de polivinilo (PVC) ASTM 3034 | 42 |
| XV | Verificación de velocidades para tubería de concreto | 43 |
| XVI | Dimensiones de canal de sección trapezoidal | 44 |
| XVII | Dimensiones de canal de sección triangular | 45 |
| XVIII | Factor K | 47 |
| XIX | Comparación de secciones obtenidas | 48 |

SÍMBOLOS

| | |
|----------------|------------------------------|
| ° | Grados <i>Celcius</i> |
| ' | Minutos |
| “ | Segundos |
| @ | A cada |
| % | Porcentaje |
| Σ | Sumatoria |
| # | Diámetro de varilla de acero |
| $\sqrt{\quad}$ | Radical |
| \leq | Menor o igual a |
| Q | Quetzales |

GLOSARIO

| | |
|------------------------------------|--|
| ACI 318 S-05 | Reglamento de los requisitos para concreto estructural de <i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano de Concreto), Comité 318, versión en español del año 2005. |
| Ángulo de fricción interna | Es el ángulo de la resultante que forman la fuerza vertical que actúa sobre la masa de suelo y la fuerza horizontal necesaria para deslizarla. |
| Área tributaria | Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es delimitada por la línea de las cumbres o parte-aguas. |
| Coefficiente de escorrentía | Relación media entre el índice de escorrentía y la precipitación anual. Indica qué porcentaje de la precipitación anual circula o escurre. |
| Cohesión | Fuerzas internas que mantienen unidas las partículas en una masa. |
| Macadanizadas | Capa de rodadura del pavimento, formado por piedras o rocas de forma regular. |
| Pluviógrafo | Instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la medición de la precipitación. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Presiones intersticiales | Presión desarrollada por los esfuerzos normales sobre la fase líquida del suelo, responsable de la resistencia al cizallamiento. |
| Radio hidráulico | Relación del área de la sección del flujo y el perímetro de esta sección, está en función del tirante hidráulico. |
| Sistema híbrido | Sistema de medidas utilizado comúnmente por simplificar cálculos; mezcla de diferentes unidades de medida. |
| Sistema M. K. S. | Sistema de medición ideado por el ingeniero Giovanni Giorgi, sus unidades fundamentales de medida son: el Metro, Kilogramo y Segundo. |
| Tirante hidráulico | Profundidad desde la superficie del flujo hasta el fondo del contenedor. |

RESUMEN

La planta de tratamiento Ingeniero Arturo Pazos Sosa de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos brinda el servicio de sanear las aguas residuales domésticas de la población de la colonia Aurora II. Tiene como fines permitir a los estudiantes de la maestría efectuar ensayos de tratamiento, comparar los diferentes procesos y capacitar a los operadores de otras plantas.

El terreno de la planta es de aproximadamente ocho hectáreas, de características boscosas y pendientes muy pronunciadas, por lo que el agua pluvial, separada de las aguas residuales, escurren naturalmente por la quebrada más cercana según lo permitido por el Plan Maestro de drenajes de la ciudad de Guatemala, pero en la actualidad el sistema no es eficiente, debido al aumento de la intensidad de las precipitaciones el suelo se sobresatura y esto origina movimiento de masas de suelo, que pusieron en peligro algunos sistemas de tratamiento y sus caminos de acceso.

La estabilidad de un talud incluye factores geométricos como la altura e inclinación, la estructura geológica, factores hidrogeológicos especialmente la presencia de agua y el comportamiento mecánico o resistencia del terreno. Por medio de la ecuación del factor de seguridad, que relaciona las fuerzas que se oponen al deslizamiento y las causantes de éste como el peso propio de la masa de suelo, el peso del agua que lo satura y el empuje horizontal, se consideran la mayoría de estos factores.

Al evaluar la estabilidad del talud se determina que es estable y el movimiento de suelo fue solamente de la capa vegetal, debido a la sobresaturación por las precipitaciones. El tipo de suelo es un limo arenoso con partículas de piedra pómez, con un ángulo de fricción interna superior al ángulo del talud y con una buena cohesión.

Estas características descartan el uso de muros de contención, que tiene un elevado costo de construcción y no son justificables para este caso. El uso de cortes escalonados presenta el inconveniente del acceso de la maquinaria al lugar de trabajo, además de ser una solución de mediano costo.

Para corregir los problemas se propone un drenaje por medio de canales trapezoidales, sin ningún recubrimiento porque presentan la alternativa más económica, rápida, y no requiere mano de obra especializada, esto permitirá drenar el agua acumulada en el suelo. La vegetación que pueda crecer en el canal reduce la velocidad del flujo, evitando la erosión del canal y además propicia la evaporación.

Como estructura de descarga se plantea un canal de concreto ciclópeo, debido a la pendiente del talud y sembrar plantas alrededor, especialmente bambú por su rápido crecimiento. Además realizar anclajes de la capa vegetal con estacas de madera de 50 cm de largo. Estas estacas se pueden conectar por pilares horizontales para obtener mejores resultados.

OBJETIVOS

General:

Evaluar y proponer mejoras al funcionamiento del drenaje pluvial de la planta piloto de tratamiento de agua residual “Ing. Arturo Pazos”.

Específicos:

1. Realizar la evaluación y un análisis de la capacidad actual del drenaje pluvial de la planta de tratamiento.
2. Rediseñar el sistema de drenaje pluvial de la planta de tratamiento.
3. Diseñar obras de protección para los taludes del punto de descarga del drenaje pluvial.

INTRODUCCIÓN

La planta piloto de tratamiento de agua residuales “Ing. Arturo Pazos”, está ubicada en la colonia Aurora II y es administrada por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos; cumple con una doble función: sanear el efluente de la población de la ciudad y servir como centro de investigación para los estudiantes de la maestría.

En la actualidad la planta presenta un problema, debido a la gran intensidad de las precipitaciones, el drenaje pluvial no es capaz de drenar toda el agua, lo que causa la erosión del suelo y pone en peligro las estructuras de los diferentes tratamientos para las aguas residuales. Para solucionar este problema se debe realizar un estudio y verificar la capacidad del sistema de drenar el agua y hacer un nuevo diseño, además incorporar obras para disipar la energía del flujo y proteger los taludes.

La obra corresponde al campo de la Ingeniería Civil, pues por tratarse de drenar solamente agua pluvial por medio de sistemas separativos, no se necesitar realizar análisis de la calidad del agua del efluente o cualquier otra consideración propia de la maestría.

En el capítulo uno se presentan los conceptos generales de Hidráulica e Hidrología relacionados con el diseño de colectores para drenajes pluviales y los de Mecánica de Suelos para determinar la estabilidad de los taludes.

El capítulo dos describe la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos, enfatizando las condiciones actuales de los drenajes pluviales. Además se muestran las curvas de relación de duración, intensidad y frecuencia y su modelo matemático equivalente de las precipitaciones típicas para la ciudad de Guatemala, datos registrados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología y también las ecuaciones propuestas por el Reglamento para diseño y construcción de drenajes de la Municipalidad de Guatemala.

El capítulo tres contiene el diseño hidráulico del sistema de drenaje pluvial de la planta de tratamiento estudiada, fraccionando el terreno total en áreas tributarias menores para considerar los diferentes puntos de desfogue. Así mismo expone el diseño de la estructura de descarga y el análisis de la estabilidad del talud erosionado por las escorrentías. Finalmente, se proponen algunas consideraciones para establecer barreras vivas como obras de protección a taludes, considerando este método debido al bajo costo de su implementación.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes; adjuntando los planos respectivos.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Precipitación

Es el proceso por el cual el agua cae de la atmósfera a la superficie terrestre, generalmente en Guatemala en forma de gotas en lluvia (precipitación pluvial). En condiciones especiales puede precipitar en forma de cubos de hielo (granizo) y en otras latitudes como nieve. El promedio para el valle de la ciudad de Guatemala es de 1,500 milímetros al año y ocurre principalmente en los meses de mayo a octubre.

Como parte del ciclo del agua a la precipitación le siguen varios caminos posibles: el escurrimiento subsuperficial, la infiltración, la evaporación, absorción de seres vivos y en su mayoría el escurrimiento por la superficie terrestre, por lo que éste es el parámetro fundamental para el estudio y manejo de las cuencas hidrográficas.

El principio de medición de la precipitación consiste en suponer que el agua precipitada se distribuye uniformemente en un área delimitada, y no se infiltrara ni evaporara, alcanzando una altura o espesor de capa.

1.2. Intensidad

Es la precipitación determinada por unidad de tiempo, usualmente se expresa en milímetros por hora (mm/h). Asociado a este término está el de duración, que es el intervalo de tiempo que tarda la precipitación y es expresado en minutos.

1.3. Relación precipitación – intensidad

Por medio del pluviógrafo se mide la precipitación y la duración de la tormenta representada en una gráfica, lo que facilita y hace más exacto la determinación de las precipitaciones e intensidades máximas y medias, por día y por año.

El registro de los fenómenos atmosféricos es vital para los cálculos y predicciones necesarias en cualquier clase de diseño y planificación, pero por diferentes razones no siempre existen o no son totalmente confiables, por lo que se decidió ordenar la información disponible y representarla, a través de análisis probabilístico y matemático, en curvas de regresión y sus funciones correspondientes, estos cálculos fueron tabulados según las duraciones más frecuentes y los períodos de retorno o probabilidades de ocurrencia más usuales.

1.4. Fórmula de la intensidad

Para determinar un evento o eventos de lluvia que deben usarse en el diseño es necesario utilizar una tormenta que involucre una relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retornos apropiados para la obra y el lugar. En algunos casos existen ya algunas curvas que relacionan estos tres factores y son conocidas como curvas IDF, una curva por cada período de retorno.

La fórmula que relaciona simultáneamente las tres variables corresponde al modelo matemático de correlación lineal:

$$i = \frac{k T^m}{(d+c)^n} \quad (1)$$

Donde:

i = Intensidad (mm/h)

T = Período de retorno (años)

d = Duración (min)

k, m, n = Parámetros de ajuste calculados por una correlación lineal múltiple

c = Parámetro de ajuste según comportamiento de la gráfica, si los datos se agrupan en líneas rectas $c=0$

1.5. Fórmula de Manning

La fórmula empírica de Robert S. Manning es la más práctica para el diseño de canales abiertos y actualmente se utiliza para el diseño en tuberías cerradas trabajando a sección parcialmente llena (tuberías con presión igual a la atmosférica).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2)$$

$$R = \frac{Am}{Pm} \quad (3)$$

Donde:

V = Velocidad (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad (adimensional)

S = Pendiente (m/m)

R = Radio hidráulico (m)

Am = Área mojada (m^2)

Pm = Perímetro mojado (m)

1.6. Método racional para el cálculo del escurrimiento

El método racional considera el escurrimiento como una fracción de la precipitación pluvial, sin descontar las pérdidas por infiltración y combina todos los factores complejos que afectan el escurrimiento en un sólo coeficiente, estas consideraciones son válidas para las zonas urbanas por no justificarse la aplicación de procedimientos más complejos para el cálculo de los drenajes pluviales.

Si el volumen de lluvia, el área por drenarse y el porcentaje de escurrimiento son conocidos, el flujo de agua de tormenta puede calcularse rápidamente. Puesto que una precipitación de 25.4 mm/h sobre un área de 0.40 hectáreas producirá casi exactamente 0.028 m³/s de agua si toda ella escurre, es posible calcular el escurrimiento, en el sistema de medición M. K. S., por la fórmula:

$$Q = C * i * A \quad (4)$$

Pero es usual utilizar un sistema híbrido, resultando:

$$Q = \frac{C * i * A}{360} \quad (5)$$

Donde:

Q = Caudal de escurrimiento (m³/s)

C= Coeficiente de escorrentía (adimensional)

i = Intensidad de la precipitación (mm/h)

A = Área (hectáreas)

La fórmula del método racional incluye los siguientes supuestos:

- El valor máximo de escurrimiento para una intensidad específica de lluvia, la cual tiene una duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia.
- El tiempo de concentración se define como el tiempo requerido para que viaje el agua desde el punto más alejado hidráulicamente de la cuenca, a la descarga.
- La frecuencia de la ocurrencia de la descarga máxima, es la misma que la de la intensidad de la lluvia con la cual se calculó.
- La descarga máxima por área unitaria disminuye conforme aumenta el área de drenaje y la intensidad de la lluvia disminuye conforme aumenta la duración.
- El coeficiente de escurrimiento permanece constante para todas las tormentas en una cuenca hidrológica, siempre que no varíen las condiciones fisiográficas de la misma.

1.6.1. Coeficiente de escurrimiento

Al seleccionar el coeficiente de escurrimiento debe tomarse en cuenta que depende de las características y condiciones del suelo, la humedad antecedente, el grado de compactación, la porosidad, la vegetación, la pendiente y el almacenamiento por alguna depresión topográfica, así como la intensidad de la lluvia. Se debe realizar un promedio del coeficiente de escurrimiento de las áreas a drenar como jardines, campos, techos y calles.

$$C = \frac{\sum C_i \times A_i}{A} \quad (6)$$

Donde:

C= Coeficiente de escorrentía

$\sum C_i \times A_i$ = Suma de áreas parciales por el valor de su impermeabilidad

A= Suma de áreas parciales

A continuación se presentan algunos valores del coeficiente de escorrentía.

Tabla I. Coeficientes de escorrentía C

| Tipo de suelo | C |
|--|-------------|
| Superficies impermeables de techos | 0.75 a 0.95 |
| Pavimentos de asfalto en buen estado | 0.55 a 0.90 |
| Pavimentos de concreto en buen estado | 0.70 a 0.90 |
| Pavimentos de piedra o ladrillo con buenas juntas | 0.75 a 0.85 |
| Pavimentos de piedra o ladrillo con juntas permeables | 0.40 a 0.70 |
| Calles macadanizadas | 0.25 a 0.60 |
| Parques, canchas, jardines, prados | 0.05 a 0.25 |
| Suelos impermeables con pendientes 1% al 2% | 0.40 a 0.65 |
| Suelos impermeables con césped y pendientes 1% al 2% | 0.30 a 0.55 |
| Suelos ligeramente permeables y pendientes 1% al 2% | 0.15 a 0.40 |
| Suelos ligeramente permeables con césped y pendientes 1% al 2% | 0.10 a 0.30 |
| Suelos moderadamente permeables y pendientes 1% al 2% | 0.05 a 0.20 |
| Suelos moderadamente permeables con césped y pendientes 1% al 2% | 0.01 a 0.10 |
| Bosques y tierras cultivadas | 0.01 a 0.20 |

Fuente: Normas y reglamento para diseño y construcción de drenajes, Municipalidad de Guatemala, página 29.

1.6.2. Tiempo de concentración

Es el tiempo requerido para que una gota de agua fluya desde el punto más alejado hidráulicamente de la cuenca, siguiendo su cauce hasta la descarga o el punto bajo estudio.

Está determinado por el tiempo de concentración superficial y el tiempo de traslado en colectores.

$$t_c = t_{cs} + t_t \quad (7)$$

Donde

t_c = Tiempo de concentración (min.)

t_{cs} = Tiempo de concentración superficial o tiempo de entrada (min.)

t_t = Tiempo de traslado en colectores (min.)

Los tiempos de concentración superficial o tiempos de entrada pueden ser definidos mediante las fórmulas:

Rowe

$$t_{cs} = \left(\frac{0.87 L^3}{D} \right)^{0.385} \quad (8)$$

Donde:

t_{cs} = Tiempo de concentración (h)

L = Longitud del cauce (km)

D = Desnivel total del cauce (m)

Kirpich

$$t_{CS} = 0.0003245 \left(\frac{L}{S^{1/2}}\right)^{0.77} \quad (9)$$

Donde:

t_{CS} = Tiempo de concentración (h)

L= Longitud del cauce (m)

S= Pendiente media del colector principal (m/m)

SCS

$$t_{CS} = \frac{L^{1.15}}{3085 D^{0.38}} \quad (10)$$

Donde:

t_{CS} =Tiempo de concentración (h)

L= Longitud del cauce (m)

D= Desnivel total del cauce (m)

El tiempo de traslado en tuberías y canales es

$$t_t = \frac{L}{60 \cdot V} \quad (11)$$

Donde:

t_t = Tiempo de traslado (min)

L= Longitud del tramo (m)

V= Velocidad media (m/s)

La Tabla II presenta los tiempos recomendados para los tramos de inicio o tiempos de entrada, considerando la pendiente del terreno y la impermeabilidad del suelo.

Tabla II. Tiempos de entrada a colectores

| Pendiente Impermeabilidad | Tiempo de entrada en minutos | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
| <1 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
| 1% | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| 2% | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
| 3% | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 |
| 4% | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| 5% | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 |
| 6% | 14.5 | 13.5 | 12.5 | 11.5 | 10.5 | 9.5 | 8.5 | 7.5 | 6.5 |
| 7% | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 |
| 8% | 13.5 | 12.5 | 11.5 | 10.5 | 9.5 | 8.5 | 7.5 | 6.5 | 5.5 |
| 9% | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 |
| 10% | 12.5 | 11.5 | 10.5 | 9.5 | 8.5 | 7.5 | 6.5 | 5.5 | 4.5 |
| 10< | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 |

Fuente: Normas y reglamento para diseño y construcción de drenajes, Municipalidad de Guatemala, página 28.

1.6.3. Período de retorno

También conocido como intervalo o probabilidad de ocurrencia, es el número de años que transcurre para que se presente un evento. Se deriva del análisis probabilístico de no ocurrencia de un evento en un intervalo de años, expresado por la función:

$$R = 1 - [Q(x)]^n = 1 - (1 - 1/T)^n \quad (12)$$

Donde:

T= Período de retorno en (años)

R= Riesgo

n= Número de años sucesivos del evento o vida útil.

Q(x)= Probabilidad de no ocurrencia de un evento igual o mayor que “x”

La Tabla III resume los períodos de retorno asociados a diferentes niveles de riesgo, según la importancia que tenga la obra o su período de vida útil, para utilizarla se busca el nivel de riesgo en porcentaje y la vida útil planificada para la estructura, esto da como resultado el número de años promedio a considerar que deben transcurrir y en el que ocurre un único evento determinado.

Tabla III. Períodos de retorno según riesgo y vida útil de la obra

| Riesgo (%) | Vida útil de diseño de la obra | | | | | | | |
|------------|--------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 100 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 90 | 1.46 | 2.71 | 4.86 | 7.03 | 9.20 | 11.37 | 22.22 | 43.93 |
| 80 | 1.81 | 3.63 | 6.73 | 9.83 | 12.93 | 16.04 | 31.57 | 62.93 |
| 75 | 2.00 | 4.13 | 7.73 | 11.33 | 14.93 | 18.54 | 36.57 | 72.64 |
| 70 | 2.21 | 4.67 | 8.82 | 12.97 | 17.12 | 21.27 | 42.03 | 83.56 |
| 60 | 2.72 | 5.97 | 11.42 | 16.88 | 22.33 | 27.79 | 55.07 | 109.64 |
| 50 | 3.41 | 7.73 | 14.93 | 22.14 | 29.36 | 36.57 | 72.64 | 144.77 |
| 40 | 4.44 | 10.30 | 20.08 | 29.87 | 39.65 | 49.44 | 98.38 | 196.26 |
| 30 | 6.12 | 14.52 | 28.54 | 42.56 | 56.57 | 70.59 | 140.68 | 280.87 |
| 25 | 7.46 | 17.89 | 35.26 | 52.64 | 70.02 | 87.40 | 174.30 | 348.11 |
| 20 | 9.47 | 22.91 | 45.32 | 67.72 | 90.13 | 112.54 | 224.57 | 448.64 |
| 15 | 12.81 | 31.27 | 62.03 | 92.80 | 123.56 | 154.33 | 308.16 | 615.81 |
| 10 | 19.49 | 47.96 | 95.41 | 142.87 | 190.32 | 237.78 | 475.06 | 949.62 |
| 5 | 39.49 | 97.98 | 195.46 | 292.94 | 390.41 | 487.89 | 975.29 | 1950.07 |
| 2 | 99.50 | 247.99 | 495.48 | 742.97 | 990.47 | 1237.96 | 2475.42 | 4950.33 |
| 1 | 199.50 | 498.00 | 995.49 | 1492.99 | 1990.48 | 2487.98 | 4975.46 | 9950.42 |

Fuente: Comisión Estatal de Agua, **Manual para las instalaciones de agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial de los fraccionamientos y condominios de la ciudad de Querétaro y zona conurbada**, página 12.

El Reglamento para Diseño y Construcción de Drenajes del la Municipalidad de Guatemala, recomienda períodos de retorno de 10 a 20 años.

1.7. Estabilidad de taludes

Los factores que influyen en la estabilidad de un talud son: factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformación).

La medición de la estabilidad está relacionada con el factor de seguridad (FS):

$$FS = \frac{\Sigma(\text{Fuerzas que se oponen al deslizamiento})}{\Sigma(\text{Fuerzas que inducen el deslizamiento})} \quad (13)$$

Dependiendo del tipo de falla se puede determinar por:

1.7.1. Falla plana

Condiciones:

- Cuando existe una fractura dominante en la roca.
- Entre terrenos de buenas características de resistencia intercalados con otros de menor calidad.
- Si el ángulo del talud es mayor que el ángulo del plano del deslizamiento y éste a su vez es mayor que el ángulo de fricción interna del suelo.

$$FS = \frac{C'A[W*\text{Cos } \psi_p - U - V \text{ Sen } (\psi_p + \delta) \text{Tan } \phi']}{W*\text{Sen } \psi_p + V \text{ Cos } (\psi_p + \delta)} \quad (14)$$

$$A = \frac{H-z}{\text{sen} \psi_p} \quad (15)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w \frac{H-z}{\text{sen} \psi_p} \quad (16)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2 \quad (17)$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\text{Tan} \psi_p} - \frac{1}{\text{Tan} \psi_t} \right] \quad \text{caso a} \quad (18)$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\left(1 - \frac{Z}{H}\right)^2 - \left(\frac{\text{Tan} \psi_t}{\text{Tan} \psi_p} - 1\right)}{\text{Tan} \psi_p} \quad \text{caso b} \quad (19)$$

Donde:

H=Altura total del talud

Z= Altura de la grieta de tracción

Z_w= Altura del agua en la grieta de tracción

C'= Cohesión

φ'= Ángulo de fricción interna

A= Área de superficie de deslizamiento

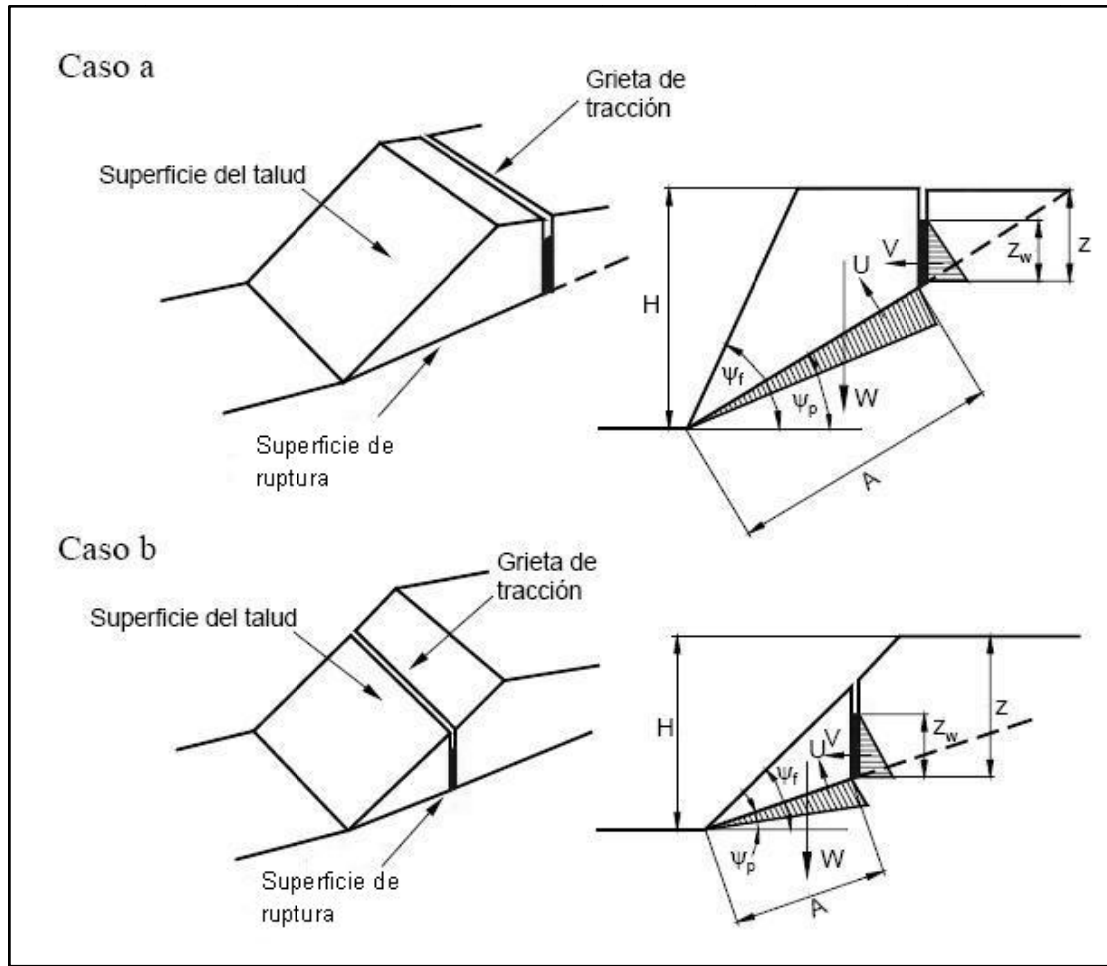
ψ_p= Ángulo que forma el plano de deslizamiento y la horizontal

ψ_t= Ángulo del talud con la horizontal

U = Resultante de las presiones intersticiales que actúan en el plano del deslizamiento

V = Resultante de las presiones intersticiales que actúan en el plano de la grieta

Figura 1. Diagramas de fallas planas



Fuente: Asociación de Ingenieros de Minas de Ecuador, **Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes**, página 46.

1.7.2. Falla en cuña

Condiciones:

- Cuando existen dos discontinuidades dispuestas oblicuamente a la línea del talud.
- Común en macizos rocosos con discontinuidades bien marcadas.
- Si el ángulo del talud es mayor que el ángulo del plano del deslizamiento y éste es mayor que el ángulo de fricción interna del suelo.

$$FS = \frac{3}{\gamma H} (C_A * X + C_B * Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} * X \right) \tan\phi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} * Y \right) \tan\phi_B \quad (20)$$

$$X = \frac{\text{Sen } \theta_{24}}{\text{Sen } \theta_{45} * \text{Cos } \theta_{2na}} \quad (21)$$

$$Y = \frac{\text{Sen } \theta_{13}}{\text{Sen } \theta_{35} * \text{Cos } \theta_{1nb}} \quad (22)$$

$$A = \frac{\text{Cos } \psi_a - \text{Cos } \psi_b * \text{Cos } \theta_{na*nb}}{\text{Sen } \psi_5 * \text{Sen}^2 \theta_{na*nb}} \quad (23)$$

$$B = \frac{\text{Cos } \psi_b - \text{Cos } \psi_a * \text{Cos } \theta_{na*nb}}{\text{Sen } \psi_5 * \text{Sen}^2 \theta_{na*nb}} \quad (24)$$

Donde:

H= Altura total de la cuña

C= Cohesión

ϕ = Ángulo de fricción interna

γ =Peso específico del suelo

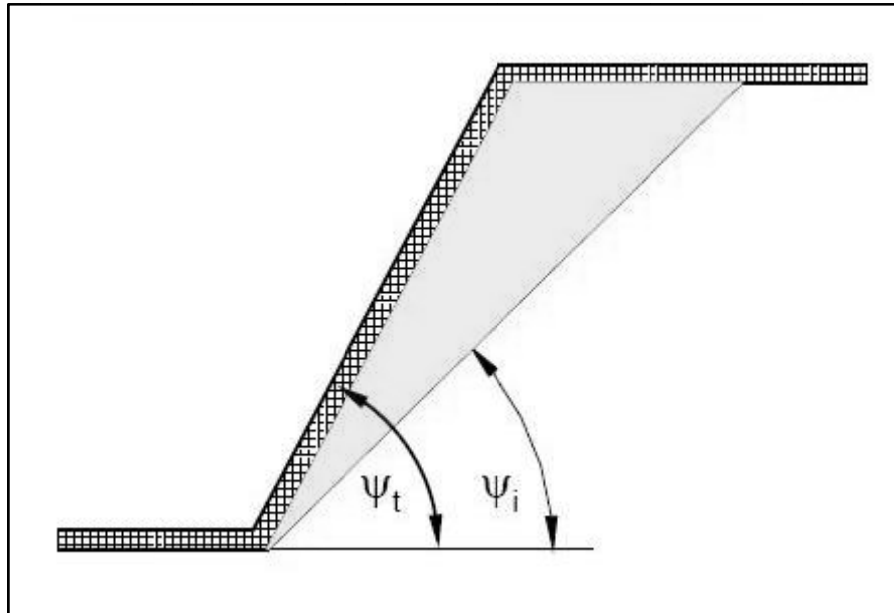
γ_w =Peso específico del agua

X, Y, A, B= Factores adimensionales que representan la geometría de la cuña

ψ_A, ψ_B =Ángulos de los planos A y B

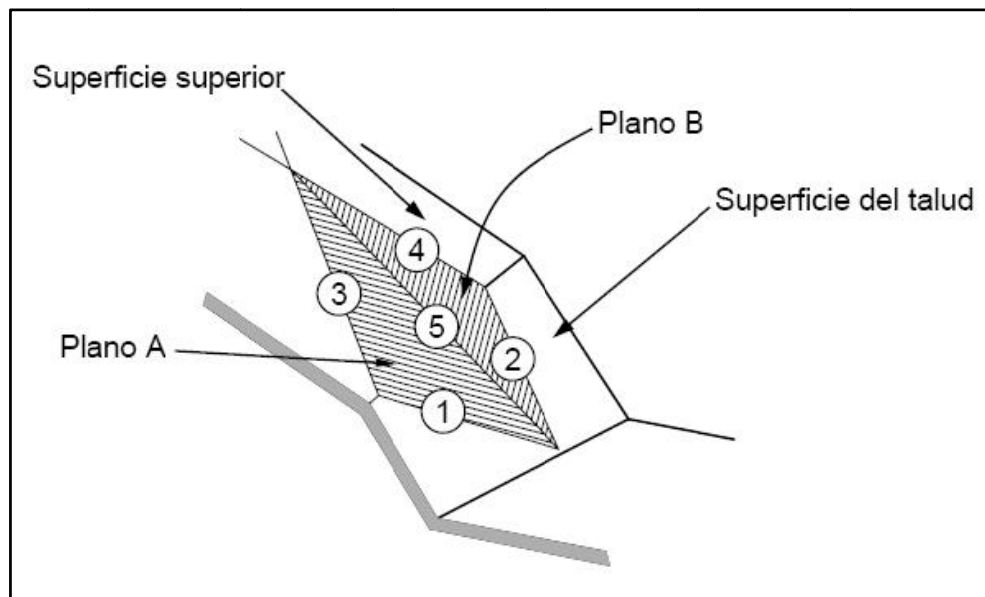
θ = Ángulos que forman las rectas

Figura 2. Ángulos de planos en falla por cuña



Fuente: Asociación de Ingenieros de Minas de Ecuador, **Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes**, página 55.

Figura 3. Diagrama de falla por cuña



Fuente: Asociación de Ingenieros de Minas de Ecuador, **Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes**, página 58.

1.7.3. Método de Fellenius para falla rotacional

Condiciones:

- Ignora las fuerzas entre las dovelas a fin de convertir el problema en estáticamente determinado.
- Toma en consideración el peso y las presiones intersticiales.
- Es el método más conservador, con el que se obtiene el valor de FS más bajo.

$$\Sigma M_E = \Sigma M_D \quad (25)$$

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n [C' L_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \tan \phi_i]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i + \frac{1}{2} \gamma_w Z^2 \left(\frac{a}{R}\right)} \quad (26)$$

Donde:

ΣM_E = Momento estabilizador

ΣM_D = Momento desestabilizador

C' = Cohesión

ϕ = Ángulo de fricción interna

W = Peso del suelo

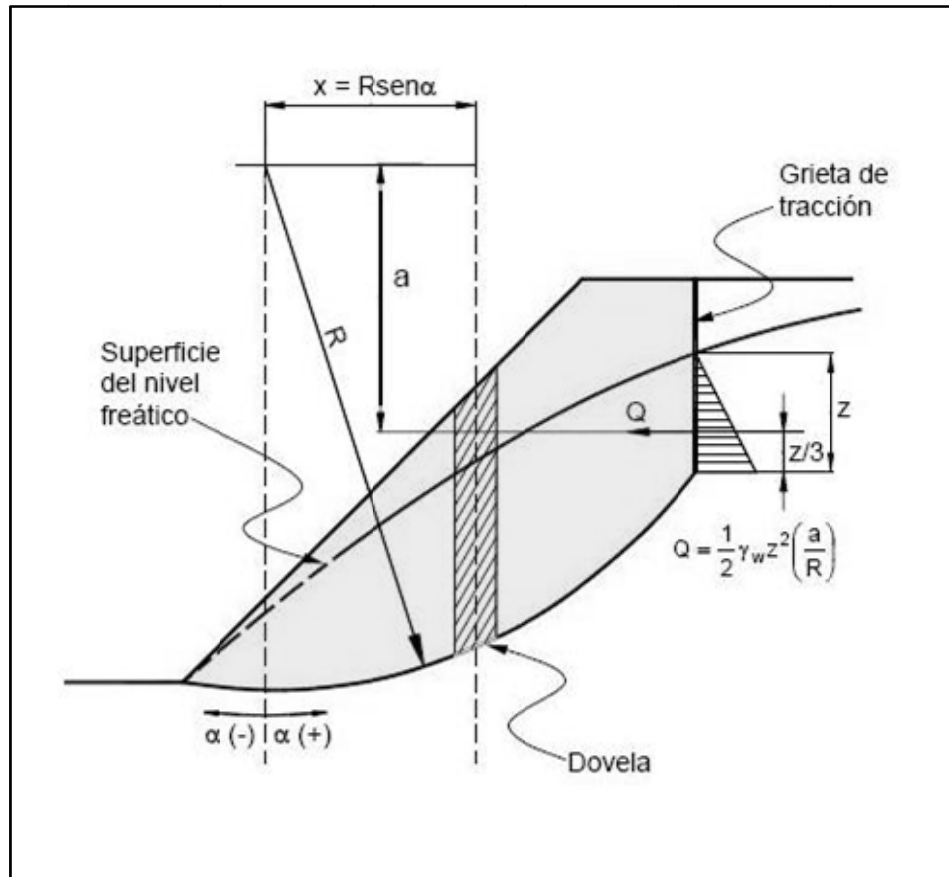
γ_w = Peso específico del agua

Z = Altura de la grieta de tracción

R = Radio del círculo crítico de falla

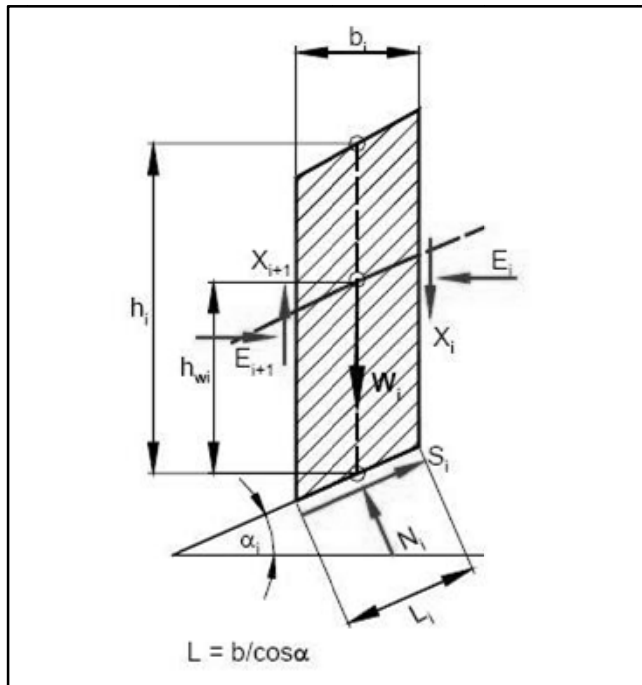
L, u, α = Variables según la geometría de la dovela

Figura 4. Diagrama de falla rotacional



Fuente: Asociación de Ingenieros de Minas de Ecuador, **Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes**, página 67.

Figura 5. Diagrama de dovela en falla rotacional



Fuente: Asociación de Ingenieros de Minas de Ecuador, **Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes**, página 67.

1.8. Estructuras de descarga

Las estructuras de descarga tienen como fin reducir la erosión del talud donde fluye la escorrentía, si se considera en lugares colindantes con vegetación presenta la ventaja de que ésta reduce la velocidad del agua. Debe ser construida de materiales resistentes a la fricción del flujo, pero también debe ser económicamente factible, por lo que en general se utilizan concreto ciclópeo, concreto armado, gaviones o de madera para estructuras temporales.

2. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ING. ARTURO PAZOS

2.1. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos

La planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos está ubicada en la diagonal 26, final 20 – 56 zona 13, colonia Aurora II en la ciudad de Guatemala. Geográficamente es localizada en 14°35' de latitud norte y 90°32' de longitud oeste.

La planta de tratamiento brinda el servicio de sanear las aguas residuales domésticas de la población de la colonia donde se ubica, estimada en 3350 habitantes. Tiene como fines permitir a los estudiantes de la maestría efectuar ensayos de tratamiento, comparar los diferentes procesos y capacitar a los operadores de otras plantas de tratamiento.

En la actualidad está integrada por cinco sistemas independientes de tratamiento con flujo por gravedad y tiene un caudal de efluente de cuatro litros por segundo, con una eficiencia de remoción mayor al 90% de los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno, turbiedad y de sólidos sedimentados. Los sistemas de tratamiento y su ubicación se diagraman en la figura 7.

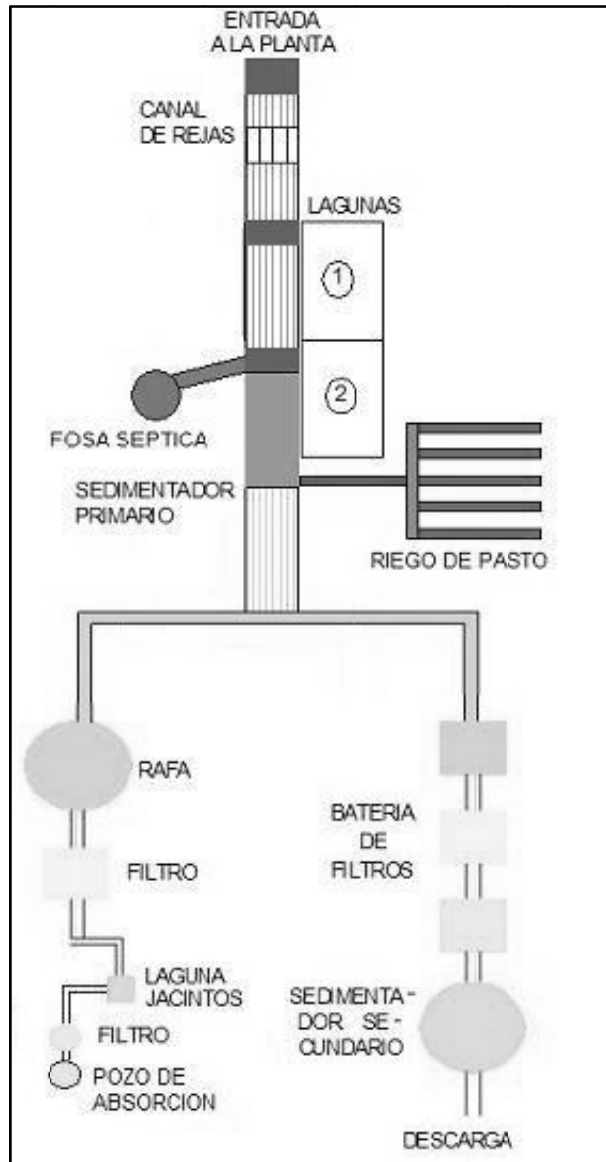
Figura 6. Localización de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos



Fuente: http://maps.google.com/maps?hl=es&q=mapas+de+guatemala&um=1&ie=UTF-8&split=0&gl=gt&ei=SvgrSuKEN8SMtgfzccSjCA&sa=X&oi=geocode_result&ct=title&resnum=1

Figura 7. Sistemas de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing.

Arturo Pazos



Fuente: <http://sitios.ingenieria-usac.edu.gt/eris/index.htm>

2.2. Descripción del sistema de drenaje pluvial

La planta de tratamiento está ubicada en un terreno de aproximadamente ocho hectáreas, de características boscosas y pendientes muy pronunciadas, por lo que el agua pluvial, separada de las aguas residuales, escurre naturalmente por la quebrada del río Guadroncito, barranco más cercano y desembocadura de esta microcuenca, según lo permitido por el Plan Maestro de Drenajes de la Ciudad de Guatemala.

Las precipitaciones que ingresan a las lagunas de estabilización y maduración o a cualquier otro sistema es tratado junto a las aguas residuales.

2.3. Evaluación de la situación actual del sistema de drenaje pluvial

El sistema de drenaje pluvial en la actualidad no es eficiente, pues debido al incremento de la intensidad de las precipitaciones, el suelo retiene mucha agua, lo que causa deslaves que ponen en peligro las estructuras de tratamiento y hace necesaria la implementación de canales o cualquier otro medio para drenar el agua, pues el escurrimiento superficial natural no es suficiente.

También los caminos de acceso a las estructuras de tratamiento son inundados por no tener medios para drenar las lluvias, lo que además de poner en peligro de deslave a las obras, hace que sea muy resbaloso y difícil el transitarlos.

Los principales deslizamientos de suelo han dañado parte del camino de acceso a los filtros de tratamiento y a la laguna de lirios. La inclinación del talud estudiado es de aproximadamente 23°, con una altura de 10 metros y está compuesto por una abundante cubierta vegetal sobre varias capas de suelo limo arenoso.

Figura 8. Talud con deslizamiento, vista desde la corona



Figura 9. Talud con deslizamiento, vista desde la base



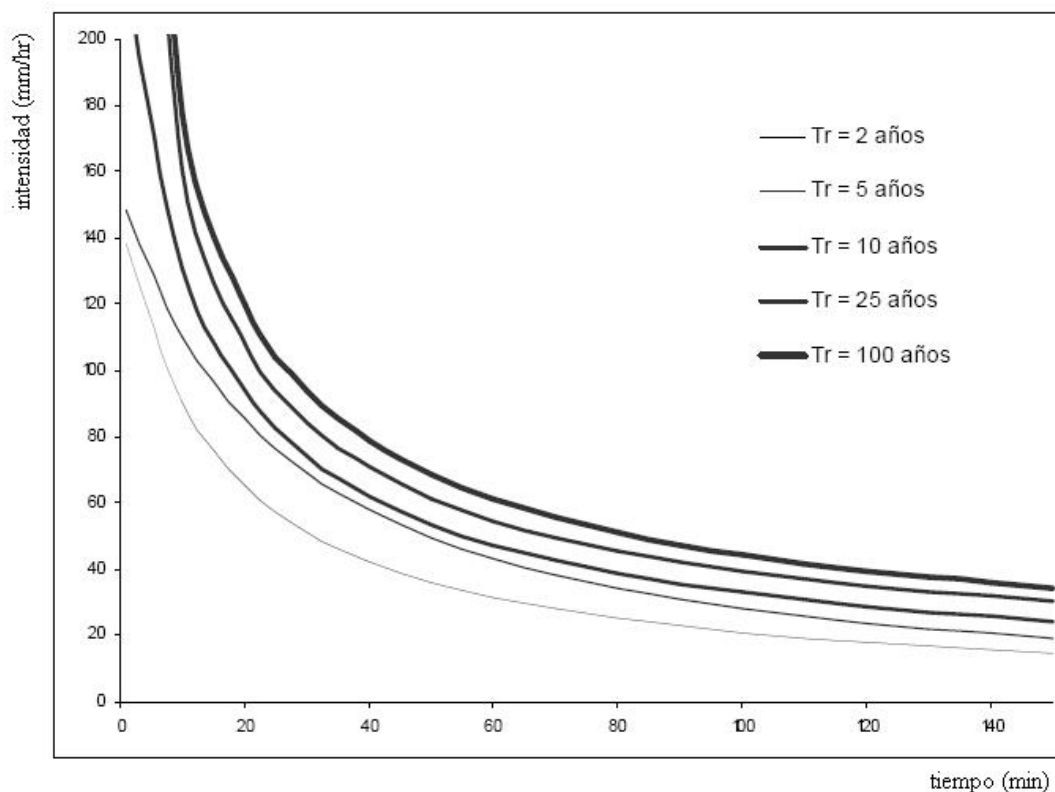
Figura 10. Camino de acceso a laguna de lirios



2.4. Información meteorológica

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH brinda los registros obtenidos en la medición de intensidades, que incluyen los valores alcanzados por el huracán Mitch, en tablas y su correspondiente modelo matemático. Las curvas que representan la duración, intensidad y frecuencia usuales son:

Figura 11. Curva de relación de duración, intensidad y frecuencia



Fuente: Víctor Samuel Brizuela Martínez, Criterios para el diseño de descargas de sistemas de drenaje pluvial, en el área metropolitana de Guatemala, página 32.

Representada por la función:

$$i = \frac{A}{(B+t)^n} \quad (27)$$

Donde:

i = Intensidad (mm/hr)

t = Tiempo (min)

A, B, n = Parámetros de ajuste

Los valores de ajuste de las curvas de duración intensidad y frecuencia son:

Tabla IV. Parámetros de ajuste de las curvas

| Período de Retorno (años) | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 |
|----------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| A | 1970 | 7997 | 1345 | 720 | 820 | 815 | 900 | 890 |
| B | 15 | 30 | 9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| n | 0.958 | 1.161 | 0.791 | 0.637 | 0.656 | 0.650 | 0.660 | 0.649 |

Adaptado: Víctor Samuel Brizuela Martínez, Criterios para el diseño de descargas de sistemas de drenaje pluvial, en el área metropolitana de Guatemala, página 32.

Adicionalmente se puede calcular la intensidad por medio de las ecuaciones en la Tabla V.

Tabla V. Intensidad de precipitación en la Ciudad de Guatemala

| Lugar | 2 años | 5 años | 10 años | 20 años |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Ciudad de Guatemala (Zona atlántica) | $\frac{2838}{t + 18}$ | $\frac{3706}{t + 22}$ | $\frac{4204}{t + 23}$ | $\frac{4604}{t + 24}$ |
| Ciudad de Guatemala (Zona pacífico) | $\frac{3624.1}{t + 27.8}$ | $\frac{4978.1}{t + 32.8}$ | $\frac{5915.7}{t + 35.8}$ | $\frac{6889.1}{t + 39.5}$ |

Fuente: Normas y reglamento para diseño y construcción de drenajes, Municipalidad de Guatemala, página 28.

3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ING. ARTURO PAZOS

El drenaje pluvial de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos requiere de un diseño que sea simple y económico de construir, aprovechando al máximo los recursos disponibles para construirlo rápidamente. Estas razones orientaron la planificación del diseño a los canales y desecharon las tuberías de cualquier material.

Los canales, para este caso, no representan un problema de saneamiento, pues el sistema funciona totalmente independiente del drenaje sanitario y de cualquier sistema de tratamiento y simplemente conducirá el agua de las precipitaciones para ser descargadas en el río Guadroncito.

3.1. Parámetros de diseño

En la ciudad de Guatemala el diseño de drenaje pluvial es regido por el Reglamento para Diseño y Construcción de Drenajes de la Dirección de Aguas y Drenajes de la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala. Además se consideraron los parámetros recomendados por las normas del Instituto de Fomento Municipal y guías de diseño de la Comisión Estatal de Aguas de la ciudad de Querétaro y de la ciudad de Madrid.

3.1.1. Área del terreno

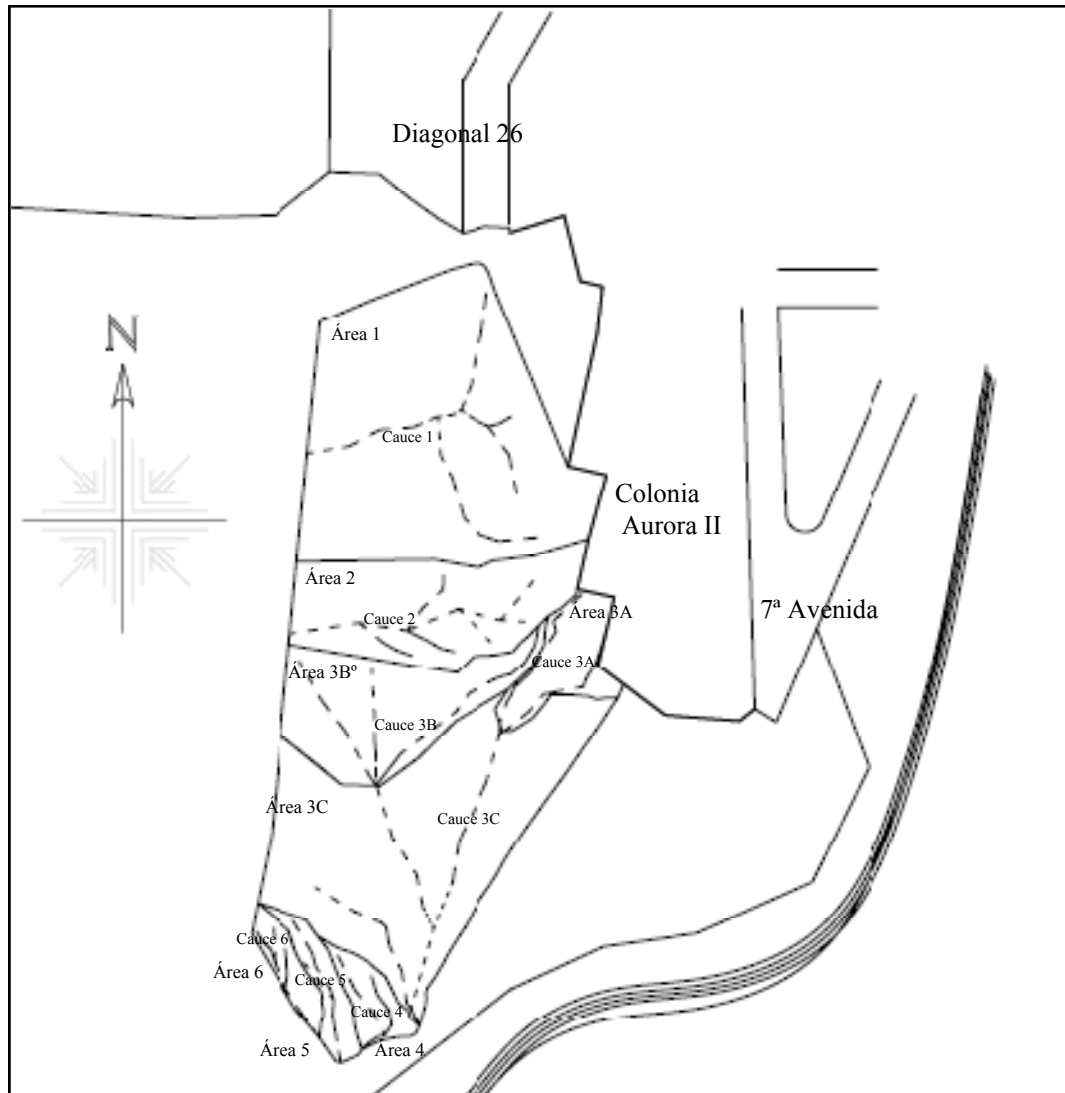
El terreno de la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos consta, según el registro de la Dirección de Bienes del Estado de 81761.2537 m², pero debido a la topografía del lugar, el agua pluvial sigue diferentes cauces, haciendo necesaria una división del área total en áreas tributarias.

Considerando las áreas que son utilizadas como sembradíos, corrales del ganado, lagunas de estabilización, la casa del guardián y las quebradas inaccesibles, el área del terreno se dividió de la siguiente manera:

Tabla VI. Distribución de áreas tributarias

| Área | Dimensión parcial m ² | Dimensión acumulada m ² |
|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Área 1 | 5243.53 | 5243.53 |
| Área 2 | 2153.11 | 2153.11 |
| Área 3-A | 811.65 | 811.65 |
| Área 3-B | 2001.94 | 2001.94 |
| Área 3-C | 2071.586 | 4885.17 |
| Área canal de concreto | | 4885.17 |
| Área 4 | 392.68 | 392.68 |
| Área 5 | 386.44 | 386.44 |
| Área 6 | 325.33 | 325.33 |

Figura 12. Diagrama de áreas de los terrenos.



3.1.2. Longitud del cauce

Los cauces de mayor longitud, según cada una de las áreas drenadas son:

Tabla VII. Distribución de cauces

| Cauce según área | Longitud en m |
|-------------------------|----------------------|
| Cauce 1 | 98.68 |
| Cauce 2 | 88.71 |
| Cauce 3-A | 50.64 |
| Cauce 3-B | 70.81 |
| Cauce 3-C | 97.664 |
| Cauce de concreto | 38.93 |
| Cauce 4 | 39.18 |
| Cauce 5 | 49.57 |
| Cauce 6 | 14.29 |

3.1.3. Desnivel del cauce

Según las curvas de nivel obtenidas se definen las siguientes cotas de terreno y de éstas el desnivel de los cauces.

Tabla VIII. Desnivel de cauces

| Cauce según área | Cota inicial | Cota final | Desnivel en m |
|-------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| Cauce 1 | 1460 | 1450 | 10 |
| Cauce 2 | 1462 | 1450 | 12 |
| Cauce 3-A | 1462 | 1448.5 | 13.5 |
| Cauce 3-B | 1457 | 1448 | 9 |
| Cauce 3-C | 1448 | 1439 | 9 |
| Cauce de concreto | 1439 | 1426 | 13 |
| Cauce 4 | 1442 | 1425 | 17 |
| Cauce 5 | 1441 | 1422 | 19 |
| Cauce 6 | 1440 | 1430 | 10 |

3.1.4. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se basa en las ecuaciones de la 8 a la 11. En el caso en el que el valor obtenido es menor al mínimo recomendado, se considera como valor el descrito en la tabla II. Según la distribución de áreas tributarias, el tiempo de concentración se resume en la Tabla IX.

El tiempo de concentración es el mismo utilizado como duración de tormenta para definir la intensidad.

Tabla IX. Tiempos de concentración de los cauces

| Cauce | Tiempo entrada en minutos | Tiempo traslado en minutos | Tiempo de concentración en minutos |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Cauce 1 | 12 | | 12.00 |
| Cauce 2 | 12 | | 12.00 |
| Cauce 3-A | 12 | | 12.00 |
| Cauce 3-B | 12 | | 12.00 |
| Cauce 3-C | | 14.17 | 14.17 |
| Cauce de concreto | | 14.17 | 14.17 |
| Cauce 4 | 12 | | 12.00 |
| Cauce 5 | 12 | | 12.00 |
| Cauce 6 | 12 | | 12.00 |

3.1.5. Coeficiente de escorrentía

Basándose en la tabla de coeficientes de escorrentía el valor de escorrentía para la cuenca es 0.20 pues toda el área es boscosa y con abundante vegetación y se considera como condición crítica el coeficiente que causa el mayor escurrimiento.

3.1.6. Período de retorno a utilizar

A causa de la vida útil de las obras de tratamiento y de la importancia de éstas se considera un período de retorno de 10 años, que representa un servicio de hasta 20 años y un riesgo del 80%.

3.1.7. Determinación de la precipitación

Los datos utilizados para la estimación de las curvas son los obtenidos por la estación pluviométrica ubicada en la sede central del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH en la zona 13 de la ciudad de Guatemala, localizada a menos de 1 km. de la planta de tratamiento. La precipitación promedio es 1,500 milímetros al año.

3.1.8. Intensidad

La ecuación para determinar la intensidad fue definida por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, con los datos correspondientes al año 2002.

$$i = \frac{A}{(B+t)^n} \quad (27)$$

Datos para la microfrecuencia:

$$A=1345$$

$$B=9$$

$$n=0.791$$

$$i = \frac{1345}{(9+12)^{0.791}} = 121.02 \text{ mm/h} \quad (28)$$

Según el reglamento para diseño y construcción de drenajes de la Municipalidad de Guatemala, los parámetros para determinar la intensidad son:

$$i = \frac{5915.7}{(12+35.8)} = 123.748 \text{ mm/h} \quad (29)$$

Se decide utilizar los datos obtenidos con los parámetros de las Normas y reglamento para diseño y construcción de drenajes, Municipalidad de Guatemala, por ser más conservadores.

3.1.9. Velocidad

La velocidad del flujo recomendada para canales con cubierta vegetal es de 3 m/s máximo y 0.75 m/s mínimo. Con revestimiento de concreto se puede llegar hasta 5 m/s.

3.1.10. Cálculo de caudal pluvial

Con los datos obtenidos se aplicó el método racional para hallar el caudal pluvial. Según cada área el caudal pluvial es:

Tabla X. Distribución de caudales por área

| Área | Caudal l/s | Caudal m ³ /s |
|-------------------|------------|--------------------------|
| Área 1 | 36.05 | 0.0361 |
| Área 2 | 14.80 | 0.0148 |
| Área 3-A | 5.58 | 0.0056 |
| Área 3-B | 13.76 | 0.0138 |
| Área 3-C | 32.13 | 0.0515 |
| Cauce de concreto | 112.45 | 0.0255 |
| Área 4 | 2.70 | 0.0027 |
| Área 5 | 2.66 | 0.0027 |
| Área 6 | 2.24 | 0.0022 |

3.1.11. Pendiente y caudal a desfogar

Las pendientes de los diferentes cauces son:

Tabla XI. Pendientes de los cauces

| Cauce | Pendiente % | Caudal |
|-------------------|-------------|--------|
| Cauce 1 | 10.13 | 0.0361 |
| Cauce 2 | 13.53 | 0.0148 |
| Cauce 3-A | 26.66 | 0.0056 |
| Cauce 3-B | 12.71 | 0.0138 |
| Cauce 3-C | 9.22 | 0.0515 |
| Cauce de concreto | 33.39 | 0.0255 |
| Cauce 4 | 43.39 | 0.0027 |
| Cauce 5 | 38.33 | 0.0027 |
| Cauce 6 | 69.96 | 0.0022 |

3.1.12. Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad se obtuvo de la Tabla V. Según las diferentes propuestas se utilizaron.

Tabla XII. Coeficientes de rugosidad utilizados

| Material | Coeficiente de rugosidad n |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Concreto | 0.015 |
| Cloruro de polivinilo (PVC) | 0.010 |
| Superficie vegetal | 0.020 |
| Suelo limoso | 0.020 |

3.1.13. Radio hidráulico

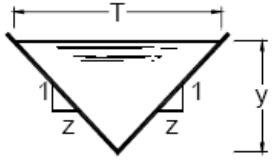
Es determinado por las siguientes ecuaciones referidas a la geometría de las secciones propuestas.

Figura 13. Características hidráulicas del canal trapezoidal

| Sección Trapecio | | Área A | Perímetro Mojado P |
|---|---------------------|------------------------------|---|
| | | $(b + zy) y$ | $b + 2y\sqrt{1 + z^2}$ |
| Radio hidráulico r | Ancho superficial T | Profundidad hidráulica D | Factor de sección z |
| $\frac{(b + zy) y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$ | $b + 2zy$ | $\frac{(b + zy) y}{b + 2zy}$ | $\frac{[(b + zy) y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$ |

Fuente: Comisión Estatal de Agua, Manual para las instalaciones de agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial de los fraccionamientos y condominios de la ciudad de Querétaro y zona conurbada, página 24.

Figura 14. Características hidráulicas del canal triangular

| Sección Triángulo | | Área A | Perímetro Mojado P |
|---|---------------------|--------------------------|------------------------------|
|  | | zy^2 | $2y\sqrt{1+z^2}$ |
| Radio hidráulico r | Ancho superficial T | Profundidad hidráulica D | Factor de sección z |
| $\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$ | $2zy$ | $\frac{1}{2}y$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$ |

Fuente: Comisión Estatal de Agua, Manual para las instalaciones de agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial de los fraccionamientos y condominios de la ciudad de Querétaro y zona conurbada, página 24.

3.1.14. Sección mínima

La sección mínima de la tubería o del canal se determina según los requerimientos de velocidad y conducción del caudal, la cual es cubierta por las siguientes dimensiones, según las diferentes opciones de materiales y formas geométricas.

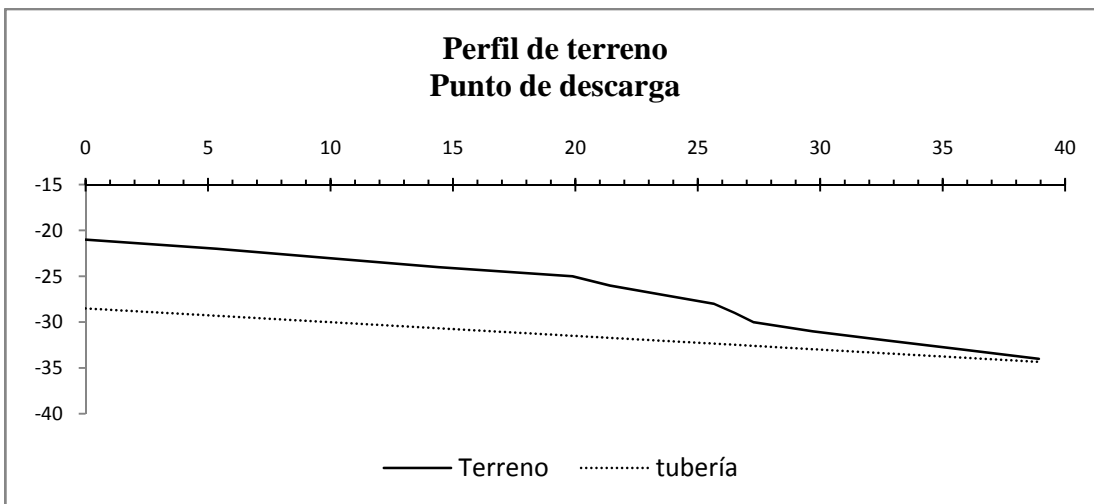
Tabla XIII. Secciones del conductor

| Cauce | Caudal (m³/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) | Área de sección a velocidad mínima (m²) | Área de sección a velocidad máxima (m²) |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Cauce 1 | 0.0361 | 0.75 | 3.0 | 0.0481 | 0.0120 |
| Cauce 2 | 0.0148 | 0.75 | 3.0 | 0.0197 | 0.0049 |
| Cauce 3-A | 0.0056 | 0.75 | 3.0 | 0.0074 | 0.0019 |
| Cauce 3-B | 0.0138 | 0.75 | 3.0 | 0.0184 | 0.0046 |
| Cauce 3-C | 0.0515 | 0.75 | 3.0 | 0.0686 | 0.0172 |
| Cauce de concreto | 0.0255 | 0.75 | 5.0 | 0.0340 | 0.0085 |
| Cauce 4 | 0.0027 | 0.75 | 3.0 | 0.0036 | 0.0009 |
| Cauce 5 | 0.0027 | 0.75 | 3.0 | 0.0035 | 0.0009 |
| Cauce 6 | 0.0022 | 0.75 | 3.0 | 0.0030 | 0.0007 |

Tabla XIV. Verificación de velocidades para tubería de cloruro de polivinilo (PVC)
ASTM 3034

| Cauce | Diámetro nominal pulgada | Pendiente tubería m/m | Velocidad sección llena m/s | Q sección llena m ³ /s | Relación q/Q | Relación v/V | Velocidad del agua m/s |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|------------------------|
| Cauce 1 | 8 | 0.10 | 4.332 | 0.1372 | 0.26284 | 0.842975 | 3.65 |
| Cauce 2 | 8 | 0.14 | 5.005 | 0.1585 | 0.09342 | 0.627735 | 3.14 |
| Cauce 3-A | 8 | 0.27 | 7.026 | 0.2225 | 0.02508 | 0.423599 | 2.98 |
| Cauce 3-B | 8 | 0.13 | 4.851 | 0.1536 | 0.08961 | 0.618706 | 3.00 |
| Cauce 3-C | 8 | 0.09 | 4.131 | 0.1308 | 0.39355 | 0.940432 | 3.88 |
| Cauce de concreto | 8 | 0.12 | 4.714 | 0.1493 | 0.17060 | 0.747054 | 3.52 |
| Cauce 4 | 6 | 0.43 | 7.380 | 0.1304 | 0.02070 | 0.401157 | 2.96 |
| Cauce 5 | 6 | 0.38 | 6.935 | 0.1225 | 0.02168 | 0.406216 | 2.82 |
| Cauce 6 | 6 | 0.70 | 9.370 | 0.1656 | 0.01351 | 0.353551 | 3.31 |

Figura 15. Perfil del terreno y tubería de PVC

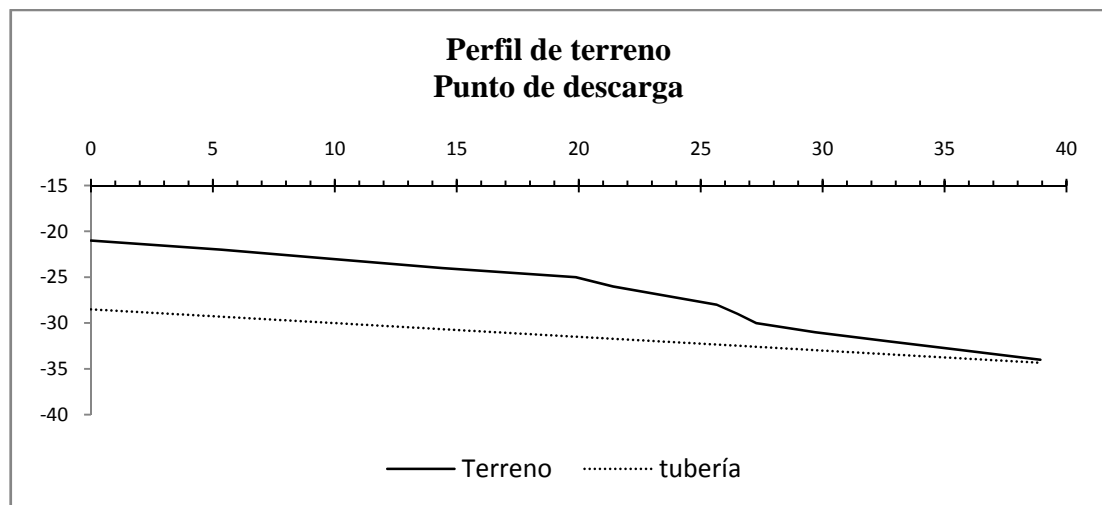


El perfil del terreno muestra excavaciones muy grandes, lo que vuelve impráctica esta alternativa.

Tabla XV. Verificación de velocidades para tubería de concreto

| Cauce | Diámetro nominal pulgada | Pendiente tubería m/m | Velocidad sección llena m/s | Q sección llena m ³ /s | Relación q/Q | Relación v/V | Velocidad del agua m/s |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|------------------------|
| Cauce 1 | 8 | 0.10 | 2.91 | 0.094 | 0.381909 | 0.933267 | 2.72 |
| Cauce 2 | 8 | 0.14 | 3.36 | 0.109 | 0.135736 | 0.699064 | 2.35 |
| Cauce 3-A | 8 | 0.27 | 4.72 | 0.153 | 0.036447 | 0.475274 | 2.24 |
| Cauce 3-B | 8 | 0.13 | 3.26 | 0.106 | 0.130202 | 0.690970 | 2.25 |
| Cauce 3-C | 8 | 0.09 | 2.78 | 0.090 | 0.571824 | 1.033441 | 2.87 |
| Cauce de concreto | 8 | 0.15 | 3.54 | 0.115 | 0.221715 | 0.803842 | 2.85 |
| Cauce 4 | 8 | 0.43 | 6.02 | 0.195 | 0.013822 | 0.356302 | 2.15 |
| Cauce 5 | 8 | 0.38 | 5.66 | 0.184 | 0.014473 | 0.359039 | 2.03 |
| Cauce 6 | 8 | 0.70 | 7.65 | 0.248 | 0.009018 | 0.313504 | 2.40 |

Figura 16. Perfil del terreno y tubería de concreto



Éste caso también muestra excavaciones muy grandes, lo que eleva el costo y aumenta la dificultad.

Tabla XVI. Dimensiones de canal de sección trapezoidal

| Cauce | Rugosidad n | Pendiente (m/m) | Z | Tirante Y (m) | Base b (m) | Ancho Superficial T (m) | Velocidad |
|-------------------|-------------|-----------------|-----|---------------|------------|-------------------------|-----------|
| Cauce 1 | 0.02 | 0.10 | 0.5 | 0.066 | 0.15 | 0.22 | 1.88 |
| Cauce 2 | 0.02 | 0.14 | 0.5 | 0.030 | 0.15 | 0.18 | 1.48 |
| Cauce 3-A | 0.02 | 0.27 | 0.5 | 0.012 | 0.15 | 0.16 | 1.24 |
| Cauce 3-B | 0.02 | 0.13 | 0.5 | 0.028 | 0.15 | 0.18 | 1.38 |
| Cauce 3-C | 0.02 | 0.09 | 0.5 | 0.060 | 0.15 | 0.21 | 1.71 |
| Cauce de concreto | 0.015 | 0.30 | 0.5 | 0.067 | 0.30 | 0.37 | 4.95 |
| Cauce 4 | 0.02 | 0.43 | 0.5 | 0.009 | 0.10 | 0.11 | 1.27 |
| Cauce 5 | 0.02 | 0.38 | 0.5 | 0.008 | 0.10 | 0.11 | 1.18 |
| Cauce 6 | 0.02 | 0.70 | 0.5 | 0.007 | 0.10 | 0.11 | 1.44 |

Figura 17. Perfil de terreno y canal trapezoidal

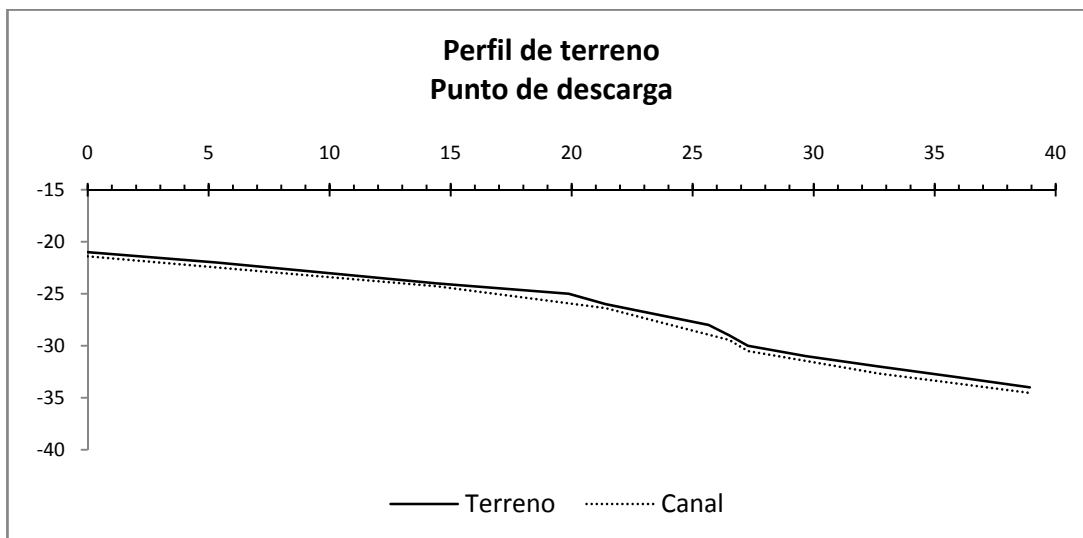
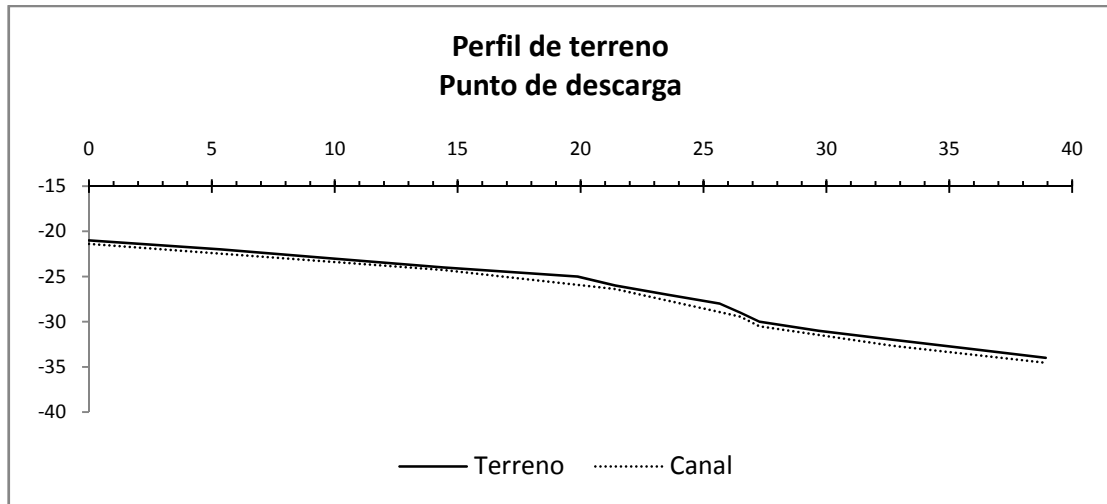


Tabla XVII. Dimensiones de canal de sección triangular

| Cauce | Rugosidad n | Pendiente (m/m) | Z | Tirante Y (m) | Ancho Superficial T (m) | Radio hidráulico | Velocidad |
|-------------------|-------------|-----------------|---|---------------|-------------------------|------------------|-----------|
| Cauce 1 | 0.02 | 0.10 | 4 | 0.055 | 0.44 | 0.0266 | 1.42 |
| Cauce 2 | 0.02 | 0.14 | 4 | 0.035 | 0.28 | 0.0170 | 1.22 |
| Cauce 3-A | 0.02 | 0.27 | 4 | 0.022 | 0.17 | 0.0105 | 1.23 |
| Cauce 3-B | 0.02 | 0.13 | 4 | 0.034 | 0.27 | 0.0164 | 1.15 |
| Cauce 3-C | 0.02 | 0.09 | 4 | 0.052 | 0.41 | 0.0251 | 1.30 |
| Cauce de concreto | 0.015 | 0.30 | 4 | 0.075 | 0.60 | 0.0364 | 4.01 |
| Cauce 4 | 0.02 | 0.43 | 4 | 0.015 | 0.12 | 0.0073 | 1.24 |
| Cauce 5 | 0.02 | 0.38 | 4 | 0.015 | 0.12 | 0.0072 | 1.16 |
| Cauce 6 | 0.02 | 0.70 | 4 | 0.014 | 0.11 | 0.0066 | 1.47 |

Figura 18. Perfil de terreno y canal triangular



3.2. Diseño hidráulico

Al analizar el movimiento de tierras requerido para cumplir con las pendientes necesarias para las diferentes opciones de tubería o canales se determina como conveniente la selección de los segundos sobre las primeras, porque brindan una solución más económica. Tampoco conviene un drenaje de tipo francés o de junta abierta porque presenta el mismo problema de elevar el costo.

Según los resultados obtenidos, para drenar las precipitaciones, es necesario un canal de sección trapezoidal con base menor de 0.15 metros, ancho superior de 0.45 metros y 0.30 metros de profundidad, que en la práctica es el mínimo recomendado. El uso de un canal de sección trapezoidal con cubierta vegetal tiene la ventaja de permitir la evaporación del agua, pero necesitan de un mantenimiento más cuidadoso y constante.

3.3. Método alternativo de diseño hidráulico

Por medio de la ecuación de Bürkli-Ziegler y la de Talbot se puede obtener una estimación rápida de la sección necesaria para drenar una cuenca. Aunque ya no es muy utilizada en países desarrollados, permite tener datos aproximados de las secciones de canales o de tuberías.

$$S = K * \sqrt[4]{A} \quad (30)$$

Donde:

S= Sección del drenaje (m²)

K= Coeficiente de características de la cuenca.

A= Área de la cuenca (ha)

$$Q = 3.90 A * I_m * C * \sqrt[4]{\frac{J}{A}} \quad (31)$$

Donde:

Q= Caudal (l/s)

A= Área de la cuenca (ha)

I_m= Intensidad de la lluvia (mm/h)

C= Coeficiente de escorrentía (adimensional)

J= Pendiente

Tabla XVIII. Factor K

| Tipo de Terreno | K |
|--|----------|
| Terreno montañosos con pendientes fuertes | 0.18 |
| Terreno ondulado con pendientes moderadas | 0.12 |
| Valles aislados, muy anchos en relación con su longitud | 0.09 |
| Terreno agrícola con longitud tres o cuatro veces su ancho | 0.06 |
| Terreno muy llano, sujeto a inundaciones | 0.04 |

Fuente: Instrucción de la Dirección General de Carreteras 5.1 IC Drenajes, Ministerio de Obras Públicas, España, página 12672

En la Tabla XIX se muestra la comparación de los valores del área de sección transversal obtenidos por medio de las ecuaciones anteriores y los datos del método racional, aunque existe variación en los resultados, se muestra una aproximación aceptable que se puede alcanzar sin conocer todos los datos necesarios para el método racional.

Tabla XIX. Comparación de secciones obtenidas

| Cauce | Caudal de Bürkli-Ziegler (l/s) | Área Sección (m²) | Sección de método Racional (m²) |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 1 | 22.25 | 0.1303 | 0.0481 |
| 2 | 16.47 | 0.0835 | 0.0197 |
| 3A | 14.20 | 0.0513 | 0.0074 |
| 3B | 15.40 | 0.0805 | 0.0184 |
| 3C | 19.59 | 0.1258 | 0.0686 |
| Cauce de concreto | 37.30 | 0.1258 | 0.0340 |
| 4 | 12.60 | 0.0357 | 0.0036 |
| 5 | 11.75 | 0.0354 | 0.0035 |
| 6 | 14.56 | 0.0325 | 0.0030 |

3.4. Diseño de estructura de descarga

3.4.1. Canal de descarga

El método de diseño de mezcla de concreto corresponde al utilizado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, basado en la experiencia de los ensayos realizados. Además se rige por las recomendaciones para las obras de concreto descritas en los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318- 05 y Comentario.

Datos:

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Peso concreto} = 2400 \text{ Kg/m}^3$$

Tipo de agregado: ciclópeo

Cálculos:

| | |
|--------------|------------------------|
| Asentamiento | 10 cm |
| Resistencia | 210 Kg/cm ² |
| Tamaño AG | 1 1/2" plg |

1 Cantidad de agua 200 lt/m³

2 Relación agua cemento 0.6

3 Cantidad de cemento 333.33 Kg

4 Relación de agregados

| | |
|------------|------------|
| Agregados | 1766.67 Kg |
| % de finos | 40 % |

5 Cantidad de agregados

| | |
|-------|------------|
| A. F. | 706.67 Kg |
| A. G. | 1060.00 Kg |

Proporción

| | | | |
|---------|-------|-------|------|
| Cemento | A. F. | A. G. | Agua |
| 1 | 3 | 4 | 0.60 |

Cálculo del empuje de suelo:

Condición crítica con suelo saturado

$$E_A = \frac{\gamma_{\text{sat}} \cdot h^2}{2} * \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi} \quad (32)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{sat}} &= 1.42 \text{ T/m}^3 \\ h &= 0.30 \text{ m} \\ \phi &= 29.73^\circ \end{aligned}$$

Para un metro:

$$E_A = 19.53 \text{ Kg/m}$$

Verificación del cortante:

$$V_u = E_A * 0.30 \text{ m}$$

$$V_u = 5.86 \text{ Kg}$$

$$V_u \leq \phi V_n \quad (33)$$

$$V_n = 0.35 * \sqrt{f'c} * b_w * h \quad (34)$$

$$= 0.35 * \sqrt{210} * 30 * 10 = 1521.59 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 0.70 * 1521.59 = 1065.12$$

Configuración seleccionada:

- Geometría de sección: trapezoidal
- Dimensiones del canal: base: 0.15 metros, base mayor 0.45 metros y laterales: 0.10 metros.
- Proporción de concreto ciclópeo 1:3:4
- Tamaño máximo de agregado 0.04 m de diámetro

Figura 19. Ejemplo del canal de descarga



Fuente: http://iesperezgaldosalejandrovillajimenez.blogspot.com/2008_05_01_archive.html

3.4.2. Análisis de la estabilidad del talud

Para analizar un talud es necesario realizar mediciones topográficas y análisis de suelos para determinar el tipo de falla y las características mecánicas y químicas del suelo.

Figura 20. Realización de medidas topográficas



Figura 21. Ensayo de corte triaxial

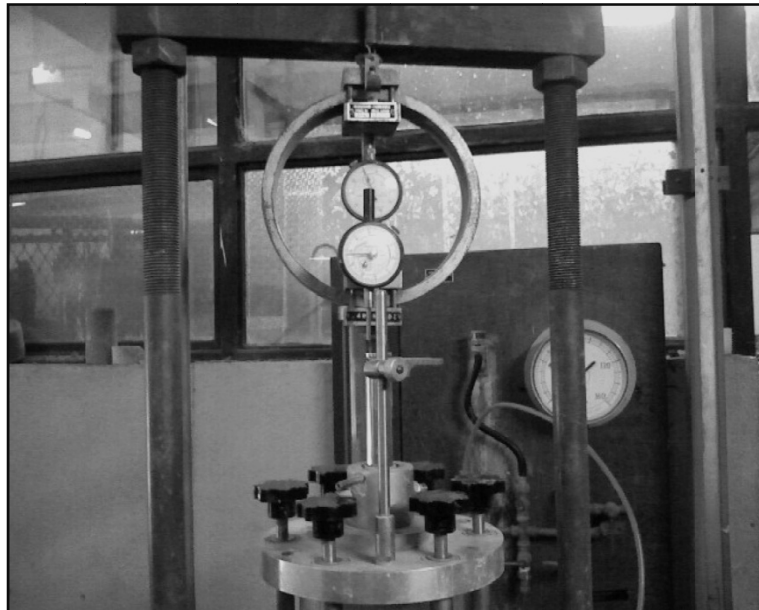
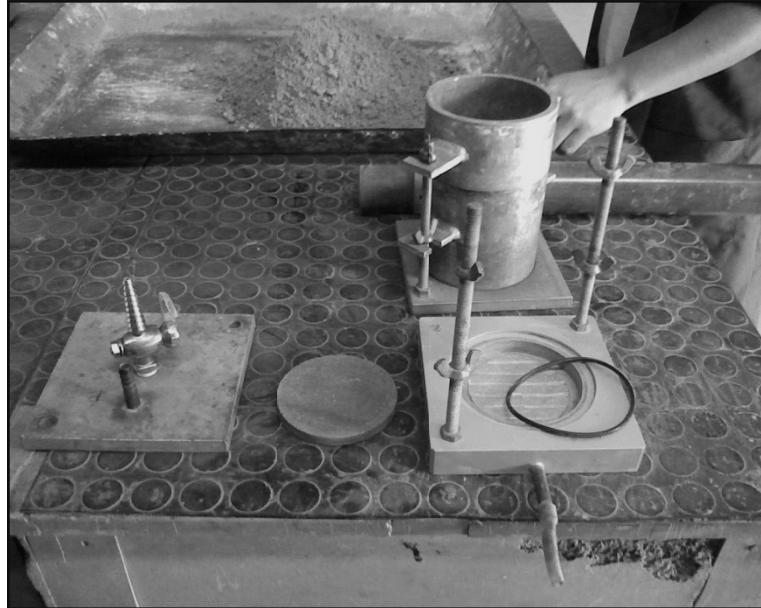


Figura 22. Ensayo de índice de permeabilidad



Debido a la geometría del movimiento del suelo se determinará la estabilidad por medio de las ecuaciones para el tipo de falla en cuña. Los datos para las ecuaciones son:

$$\begin{aligned}
 H &= 9.29 \text{ m} \\
 C &= 4.00 \text{ T/m}^2 = 39.23 \text{ kN/m}^2 \\
 \phi &= 29.73^\circ \\
 \gamma &= 1.07 \text{ T/m}^3 = 10.49 \text{ kN/m}^3 \\
 \gamma_w &= 9.81 \text{ kN/m}^3 \\
 \psi_A &= 43^\circ 33' 39'' \\
 \psi_B &= 37^\circ 13' 57'' \\
 \psi_5 &= 22^\circ 51' 37'' \\
 \theta_{1-3} &= 149^\circ 51' 44'' \\
 \theta_{3-5} &= 7^\circ 31' 25'' \\
 \theta_{2-4} &= 150^\circ 56' 15'' \\
 \theta_{4-5} &= 7^\circ 09' 29'' \\
 \theta_{na-nb} &= 88^\circ 39' 35''
 \end{aligned}$$

Cálculos:

$$\text{Cos } \psi_A = 0.7246$$

$$\text{Cos } \psi_B = 0.7962$$

$$\text{Sen } \psi_5 = 0.3885$$

$$\text{Cos } \theta_{na-nb} = 0.0234$$

$$\text{Cos } \theta_{na-nb} = 0.9997$$

$$\text{Sen } \theta_{2-4} = 0.4858$$

$$\text{Sen } \theta_{4-5} = 0.1246$$

$$\text{Cos } \theta_{2-na} = 0.9215$$

$$\text{Sen } \theta_{1-3} = 0.5021$$

$$\text{Sen } \theta_{3-5} = 0.1309$$

$$\text{Cos } \theta_{1-nb} = 0.572$$

$$A = \frac{0.7246 - 0.7962 * 0.0234}{0.885 * (-0.8612)} = -2.11 \quad (35)$$

$$B = \frac{0.7962 - 0.7246 * 0.0234}{0.885 * (-0.8612)} = -2.329 \quad (36)$$

$$X = \frac{0.4858}{0.1246 * 0.9215} = 4.231 \quad (37)$$

$$Y = \frac{0.5021}{0.1309 * 0.3572} = 10.74 \quad (38)$$

$$\text{Tan } \phi = 0.5711$$

$$\frac{\gamma_w}{2\gamma} = \frac{9.81 \text{ kN/m}^3}{2 * 10.49 \text{ kN/m}^3} = 0.4676 \quad (39)$$

$$\frac{3 C}{\gamma * H} = \frac{3 * 39.23 \text{ kN/m}^2}{10.49 \text{ kN/m}^3 * 9.29 \text{ m}} = 1.208 \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \text{F.S.} = & 1.21 * 4.23 + 1.21 * 10.74 + (- 2.11 - 0.47 * 4.23) * 0.57 + \\ & (- 2.33 - 0.47 * 10.74) * 0.57 = 11.55 \end{aligned} \quad (41)$$

$$\text{F.S.} = 11.55 > 1 \quad \text{Estable}$$

El talud es estable debido a la buena cohesión que tiene el suelo, el movimiento ocurrido corresponde a un deslizamiento de la capa vegetal.

3.4.3. Obras de protección del talud

La inestabilidad de un talud puede ser contrarrestada por obras estructurales como muros de contención, gaviones y barreras vivas; cambios en su geometría cortando el talud a un ángulo conveniente y la aplicación de drenajes eficientes; la selección o combinación dependerá del presupuesto disponible.

Para los surcos de erosión de los taludes causados por la concentración de las precipitaciones, se deben construir drenajes en la cresta del talud, dirigiendo el caudal hacia el punto de descarga y canales al pie del talud para interceptar la escorrentía. Estos canales pueden ser con cubierta vegetal o recubiertos de concreto.

El anclaje por medio de estacas de madera ofrece otra solución económica para mejorar la estabilidad de los taludes. Las estacas pueden ser de madera de pino o similar, con una longitud aproximada de medio metro, debiendo anclarse al menos .35 metros en ángulo perpendicular al del talud, se deben clavar estacas a cada metro. Éstas se deben unir por clavos o alambre unas con otras con postes horizontales, formando triángulos, dentro de los cuales se puede sembrar barreras vivas.

Para la barrera viva del talud se puede sembrar en la cima al menos dos franjas de árboles, separados aproximadamente dos metros uno del otro, para reducir la velocidad del flujo y mejorar la cohesión del suelo por las raíces. En el talud, de ser posible, sembrar alguna de las siguientes especies: bambú (*bambusa sp*); limoncillo (*Cymbopogon citratus*); caña brava (*Gyneryum sagittatumm*); chusque (*Chusquea sp*); nacedero (*Trichartera gigantea*); guadua (*guadua sp*), entre otras, seleccionadas por el rápido crecimiento y el aferre de sus raíces.

Figura 23. Ejemplo de la estabilización de taludes por cultivos



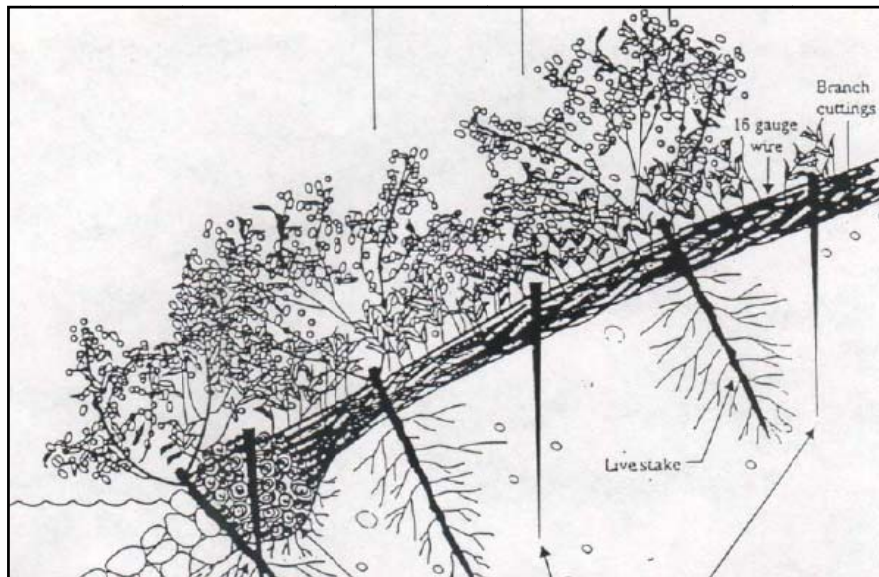
Fuente: http://www.geocities.com/carlose_escobar/6_tratamientos_vegetales_control_erosion.htm

Figura 24. Detalle de la estabilización de taludes por cultivos



Fuente: http://www.geocities.com/carlose_escobar/6_tratamientos_vegetales_control_erosion.htm

Figura 25. Diagrama de la estabilización de taludes por cultivos



Fuente: González Toro, Carmen. **Estabilización de taludes y control de escorrentía**, página 7.

3.4.4. Recomendaciones para establecer barreras vivas

Distancia de siembra: las distancias están marcadas en principio por el desarrollo de los árboles, su crecimiento y de los objetivos. También depende de las características de las diferentes especies y de las condiciones del sitio tales como la pendiente del terreno.

Preparación del suelo: consiste en la eliminación de la vegetación existente con el objeto de evitar la competencia de luz y nutrientes a los árboles que se van a plantar.

Disposición de los residuos vegetales: todos los materiales de la preparación del terreno deberán colocarse en sitios seleccionados, de tal manera que no interfieran los trabajos de plantación. Éstos se acumulan y sirven como materia orgánica para recuperación de otras áreas degradadas.

Trazado: se ejecuta con el apoyo de cintas o cuerdas marcadas con el propósito de que las distancias escogidas queden uniformemente distribuidas en el terreno y en cada sitio puede quedar una estaca a manera de marcación. Hay que limpiar la vegetación de un área circular con diámetro de un metro y en el centro del plato se realiza un hoyo que permita la colocación del árbol (generalmente 0.30*0.30*0.30 m).

Plantación: la siembra, en lo posible, debe coincidir con la época de lluvias. Este trabajo consiste en retirar la bolsa, evitando desmoronar la tierra y se coloca el árbol en el hoyo rellenándolo con la tierra que se extrajo para afirmarlo y apisonándolo para evitar espacios vacíos. Transcurridos 15 días de la siembra se fertiliza con productos que contengan los nutrientes necesarios para el tipo de suelo que se reforesta. Al mes se practica la resiembra, reemplazando las plántulas muertas o en mal estado y su fertilización.¹

3.5. Costos del drenaje pluvial

Presupuesto Agosto de 2009

| No | Actividad | Medida | Total | Costo | Costo Total |
|----|-----------------------|----------------|-------|---------|-------------------|
| 1 | Actividades previas | | | | |
| | Limpieza | m2 | 5000 | Q2.50 | Q12,500.00 |
| 2 | Zanjeo drenajes | | | | |
| | Equipo | Unidad | 1 | Q250.00 | Q250.00 |
| | Mano de obra | m | 450 | Q7.50 | Q3,375.00 |
| 3 | Movimiento de tierra | | | | |
| | Movimiento de tierra | m3 | 85 | Q30.00 | Q2,550.00 |
| 4 | Canal concreto | | | | |
| | Cemento | sacos | 36 | Q61.00 | Q2,196.00 |
| | Arena | m ³ | 4 | Q190.00 | Q760.00 |
| | pedrín | m ³ | 4 | Q250.00 | Q1,000.00 |
| | Formaleta | m | 130 | Q10.00 | Q1,300.00 |
| | Equipo | Global | 1 | Q250.00 | Q250.00 |
| | Mano de obra | m ³ | 6 | Q175.00 | Q1,050.00 |
| 5 | Reforestación | | | | |
| | Mano de obra | Árbol | 50 | Q8.00 | Q400.00 |
| | Semillas | Global | 1 | Q10.00 | Q10.00 |
| 6 | Colocación de estacas | | | | |
| | Mano de obra | Unidad | 150 | Q10.00 | Q1,500.00 |
| | Estacas | Estacas | 150 | Q7.00 | Q1,050.00 |
| | Puentes de unión | Puentes | 450 | Q11.00 | Q4,950.00 |
| | Clavos | lb | 40 | Q12.50 | Q500.00 |
| | Alambre de amarre | lb | 50 | Q12.50 | Q625.00 |
| | TOTAL | | | | Q34,266.00 |
| | Imprevistos | | | 10% | Q3,426.60 |
| | TOTAL | | | | Q37,692.60 |

CONCLUSIONES

1. El sistema de drenaje pluvial con el que cuenta la planta de tratamiento Ing. Arturo Pazos, no es eficiente para las condiciones meteorológicas actuales, debido al gran volumen de precipitación, el cual no puede escurrir naturalmente y forma pozas que se infiltran y sobresaturan el suelo.
2. El nuevo sistema de drenaje pluvial debe ser a través de canales de forma trapezoidal con cubierta vegetal, de dimensiones 0.15 metros de base menor, 0.45 metros de base mayor y profundidad de 0.3 metros, que se seleccionó por la gran extensión del terreno y lo accidentado del mismo. La cubierta vegetal permite la evaporación del agua y también reduce la velocidad del flujo. El canal de descarga será de concreto ciclópeo con las mismas dimensiones, elegido por la pendiente y la resistencia al desgaste que ocasiona el agua. La selección fue considerada con base a la eficiencia y economía sobre las otras opciones.
3. No existe inestabilidad del talud estudiado, los deslizamiento del suelo fueron de la capa vegetal, lo que se puede contrarrestar con un mejor drenaje de las precipitaciones, la reforestación del talud y la incrustación de estacas conectadas entre si para anclar esta capa al suelo firme.

4. Realizar cortes en el talud de manera escalonada, especialmente en el talud ubicado sobre la laguna de lirios, porque éste presenta una socavación en la base y puede ocasionar deslaves sobre la laguna. La ejecución de esto implica un mayor costo y dificultad de construcción.

RECOMENDACIONES

1. Sembrar árboles a una distancia conveniente, pues las raíces pueden causar daño a las estructuras. La mejor opción puede ser el bambú, debido a los excelentes resultados que se obtiene con éstos.
2. Controlar el crecimiento de la capa vegetal dentro del canal, porque ésta ayuda a la reducción de la velocidad del flujo en éste, pero si crece mucho puede causar el estancamiento del agua.
3. Asignar el presupuesto debido para el mantenimiento de cualquier sistema seleccionado y evitar daños a las obras de los tratamientos.
4. Publicar actualizaciones periódicas de la información meteorológica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, como rector de las mediciones hidrológicas de Guatemala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. http://www.geocities.com/carlose_escobar/6_tratamientos_vegetales_control_erosion.htm. marzo de 2009

BIBLIOGRAFÍA

1. Brizuela Martínez, Víctor Samuel. Criterios para el diseño de descargas de sistemas de drenaje pluvial, en el área metropolitana de Guatemala. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2007. 83 pp.
2. *Committee 318 American Concrete Institute. Building code requirements for structural concrete and commentary.* 1ª impresión. Estados Unidos: American Concrete Institute. 2005. 485 pp.
3. Contreras Álvarez, Ismael. Diseño de alcantarillado sanitario y pluvial de las colonias Monte Carlo y las Brisas I y II, del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2007. 86 pp.
4. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de suelos y cimentaciones.** 5ª edición. México: Limusa, 2004. 650 pp.
5. Franco T., Alcides. **Modificaciones a la Norma Boliviana 688: Técnicas de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial.** Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos. La Paz, Bolivia: s.e. Mayo de 2002. 43 pp.
6. García de León, Nery William. **Método práctico para la elaboración de presupuestos de construcción.** 1ª edición. Guatemala: Kamar. s.a. 134 pp.
7. Gavilanes J. Hernán. Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes. Exposición del curso de explotación de canteras, Asociación de Ingenieros de Minas, Ecuador. s.e. s.a. 87 pp.

8. González de León, José Gilberto. Experiencias nacionales en el tratamiento de aguas residuales. Exposición del III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Guatemala: s.e. Enero de 2004. 31 pp.
9. González Toro, Carmen. **Estabilización de taludes y control de escorrentía**, Recinto Universitario de Mayaguez, Puerto Rico, s.e. Mayo de 2006. 9 pp.
10. **Instrucción de la Dirección General de Carreteras 5.1 I C “Drenajes”**, Ministerio de Obras Públicas de Madrid. s.e. 21 de junio de 1965. España. 61 pp.
11. Klug Artola, Jorge Adolfo. Evaluación de las condiciones físicas, químicas y de operación de las lagunas de estabilización de la planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa ubicada en la ciudad de Guatemala. Trabajo de diplomado de Ingeniería Sanitaria. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Junio de 2005. 93 pp.
12. **Manual de control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida**. Ministerio de agricultura. Santiago, Chile. 1998. 73 pp.
13. MacGinley, T. J. *Reinforced concrete design theory and examples*. 2ª edición. Reino Unido: Spon Press. 1990. 540 pp.
14. McCormac, Jack C. **Diseño de concreto reforzado**. 4ª edición. México: Alfaomega. 2002. 779 pp.
15. Montenegro, Raquel. **Especificaciones formales para el informe final de trabajos graduación**. Guatemala: s.e. 2000.
16. **Normas y reglamento para diseño y construcción de drenajes**, Municipalidad de Guatemala. Dirección de aguas y drenajes. Guatemala. s.e. Septiembre de 1963. 57 pp.
17. **Resolución No. 420-2001: Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados**, Instituto de Fomento Municipal. Guatemala. s.e. 13 de noviembre de 2001. 33 pp.

18. Soto, Luis A. **Bioingeniería de suelos. Seminario sobre el control de erosión y sedimentación en proyectos de desarrollo urbano y rural.** Puerto Rico: s.e. Enero 1998. 9 pp.
19. http://maps.google.com/maps?hl=es&q=mapas+de+guatemala&um=1&ie=UTF8&split=0&gl=gt&ei=SvgrSuKEN8SMtgfztcSjCA&sa=X&oi=geocode_result&ct=title&resnum=1. enero de 2009.
20. <http://sitios.ingenieria-usac.edu.gt/eris/> enero de 2009.
21. <http://www.aimecuador.org> enero de 2009.
22. <http://iesperezgaldosalejandrovillajimenez.blogspot.com> enero de 2009.
23. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29052.pdf> enero de 2009.

APÉNDICES

Figura 26. Estratigrafía del suelo del talud



Figura 27. Lagunas de estabilización



Figura 28. Laguna de lirios



Figura 29. Toma de muestras de suelo



Figura 30. Informe de ensayo de corte directo

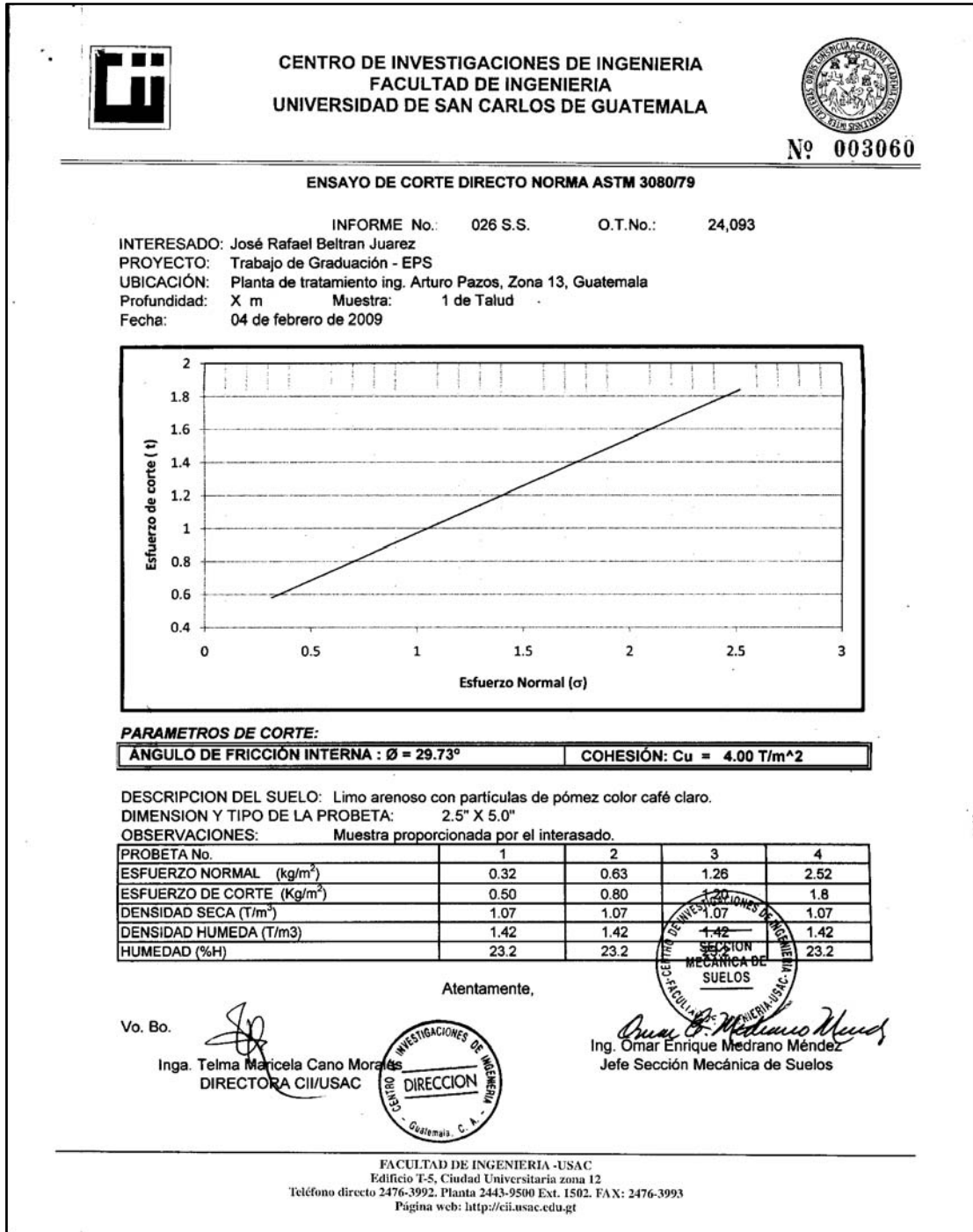


Figura 31. Informe de ensayo permeabilidad

| | | |
|--|--|--|
| | CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA | |
| | | Nº 003112 |
| <hr/> | | |
| Informe No: 027 S. S. | O.T. No.: 24093 | |
| INTERESADO: José Rafael Beltran Juarez | | |
| PROYECTO: Trabajo de Graduación - EPS | | |
| PROCEDENCIA: Planta de tratamiento ing. Arturo Pazos, Zona 13, Guatemala | | |
| ASUNTO: ENSAYO DE PERMEABILIDAD | | |
| NORMA: AASHTO T125-66 | | |
| UBICACIÓN: Zona 13 , Guatemala, Guatemala | | |
| DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limo arenoso con partículas de pómez color café claro. | | |
| FECHA: 04 de febrero de 2009 | | |
| <u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u> | | |
| Coefficiente de Permeabilidad= 5.79×10^{-5} cm/s | | |
| OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado. | | |
| | Atentamente, | |
| | | <i>Omar E. Medrano Mendez</i> Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos |
| Vo. Bo. | <i>Telma Maricela Cans Morales</i> Inga. Telma Maricela Cans Morales DIRECTORA CII/USAC | |
| <hr/> | | |
| <small>FACULTAD DE INGENIERIA - USAC Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small> | | |

Figura 32. Informe de ensayo granulométrico

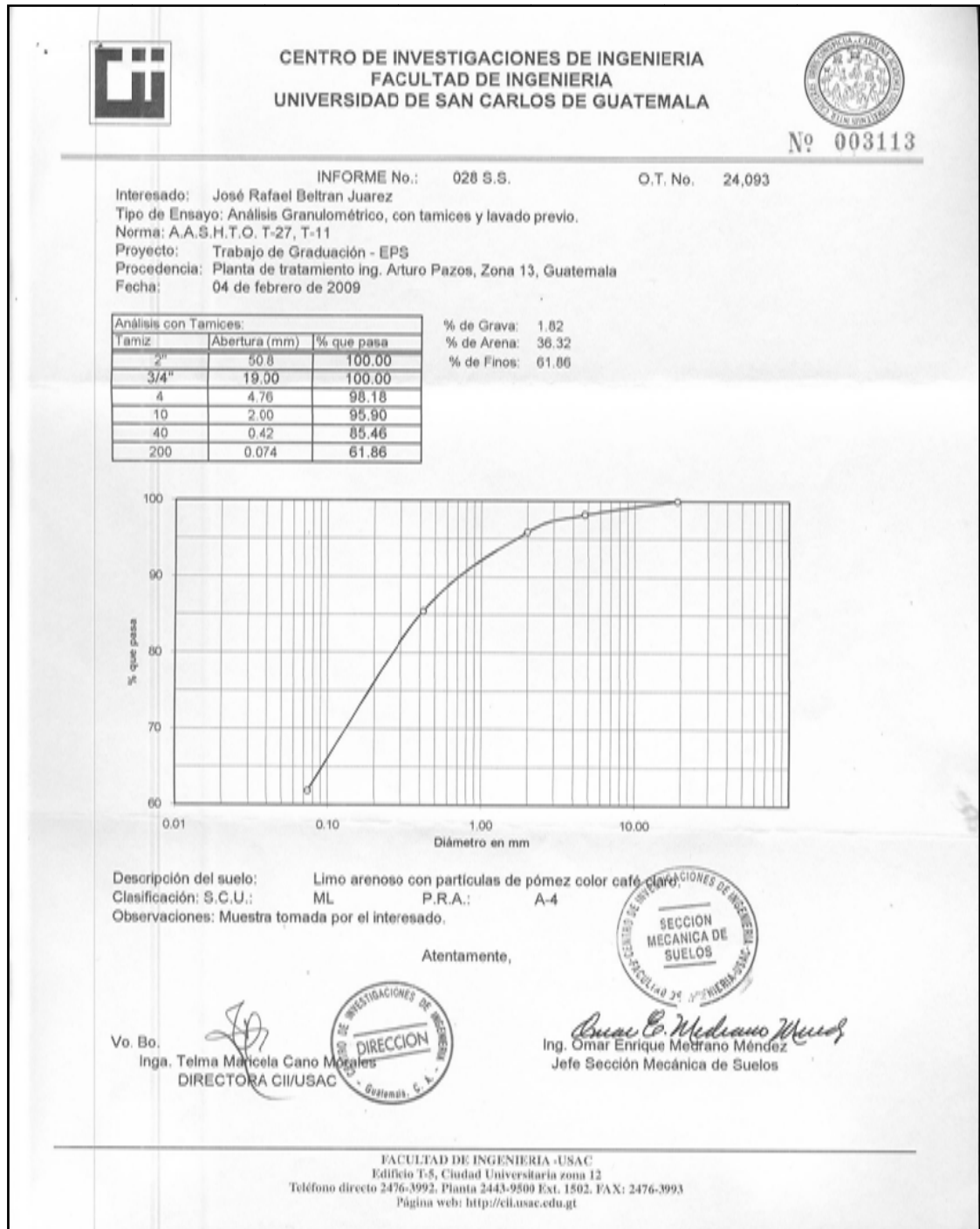




Figura 33. Informe de ensayo límites de Atterberg



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 003114

INFORME No. 029 S. S. O.T.: 24093

Interesado: José Rafael Beltrán Juárez
 Proyecto: Trabajo de Graduación - EPS

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Planta de tratamiento ing. Arturo Pazos, Zona 13, Guatemala

FECHA: 04 de febrero de 2009

RESULTADOS:


| ENSAYO No. | MUESTRA No. | L.L. (%) | I.P. (%) | C.S.U. * | DESCRIPCION DEL SUELO |
|------------|-------------|----------|----------|----------|---|
| 1 | 1 | 34.5 | 4.5 | ML | Limo arenoso con partículas de pómez color café claro |

(*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO


Observaciones: Muestra tomada por el interesado.


Alientamente,

Vo. Bo.



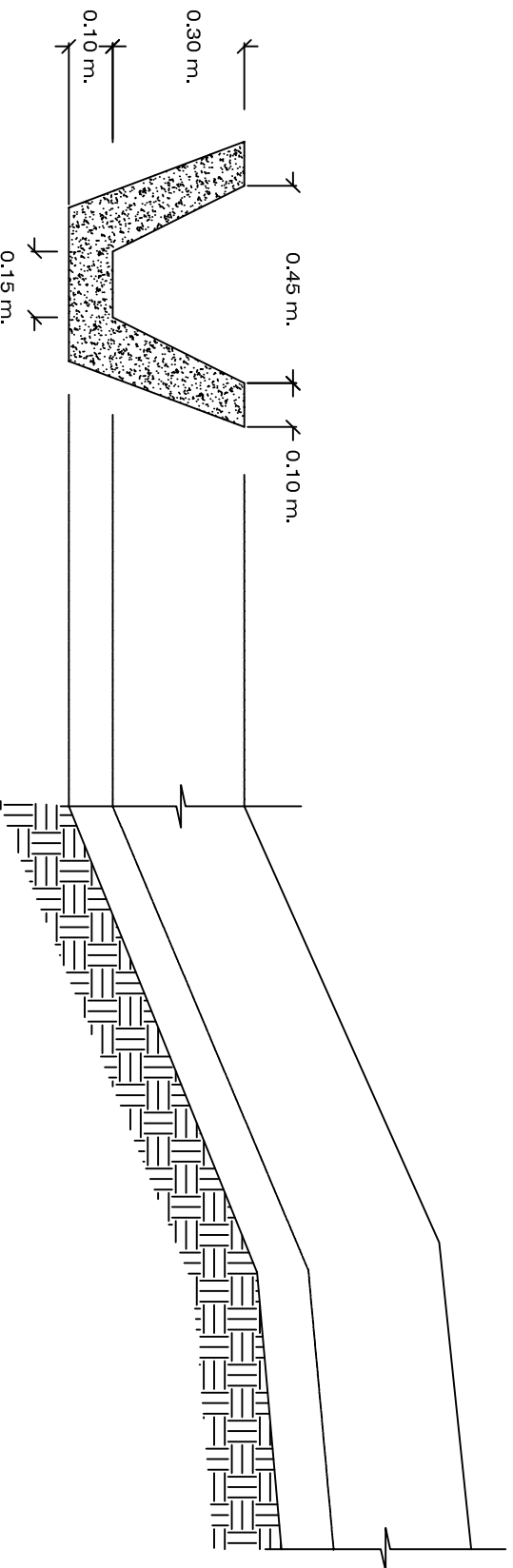
Inga. Telma Maricela
DIRECTORA USAC





Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 2476-3992, Planta 2443-9500 Ext. 1502, FAX: 2476-3993
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL

ESCALA 1:7.5

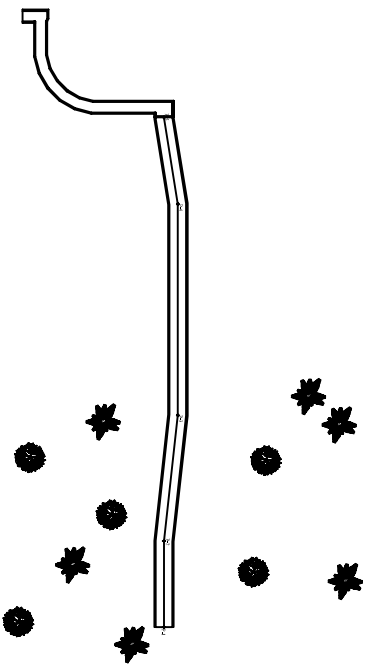
SECCIÓN LONGITUDINAL DEL CANAL

ESCALA 1:7.5



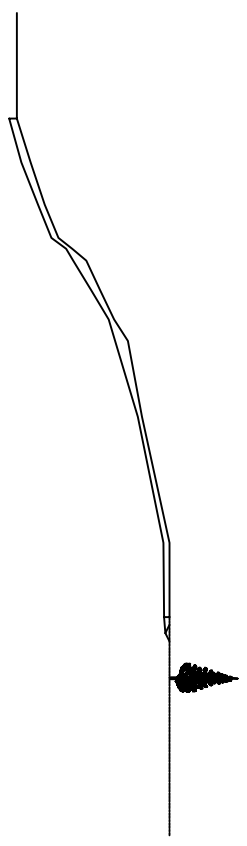
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

| | | | |
|---|--|---------|--------------|
| PROYECTO: | MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ING. ARTURO PAZOS | ESCALA: | INDICADA |
| TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL | | FECHA: | FEBRERO 2010 |
| ESTUDIANTE: | | CARNE: | |
| JOSE RAFAEL BELTRAN JUAREZ | | | 2003-21000 |
| DETALLES DE CANAL DE CONCRETO | | HOJA: | HOJA |
| | | 3 | 3 |



PLANTA DEL CANAL

ESCALA 1:250



PERFIL DEL CANAL

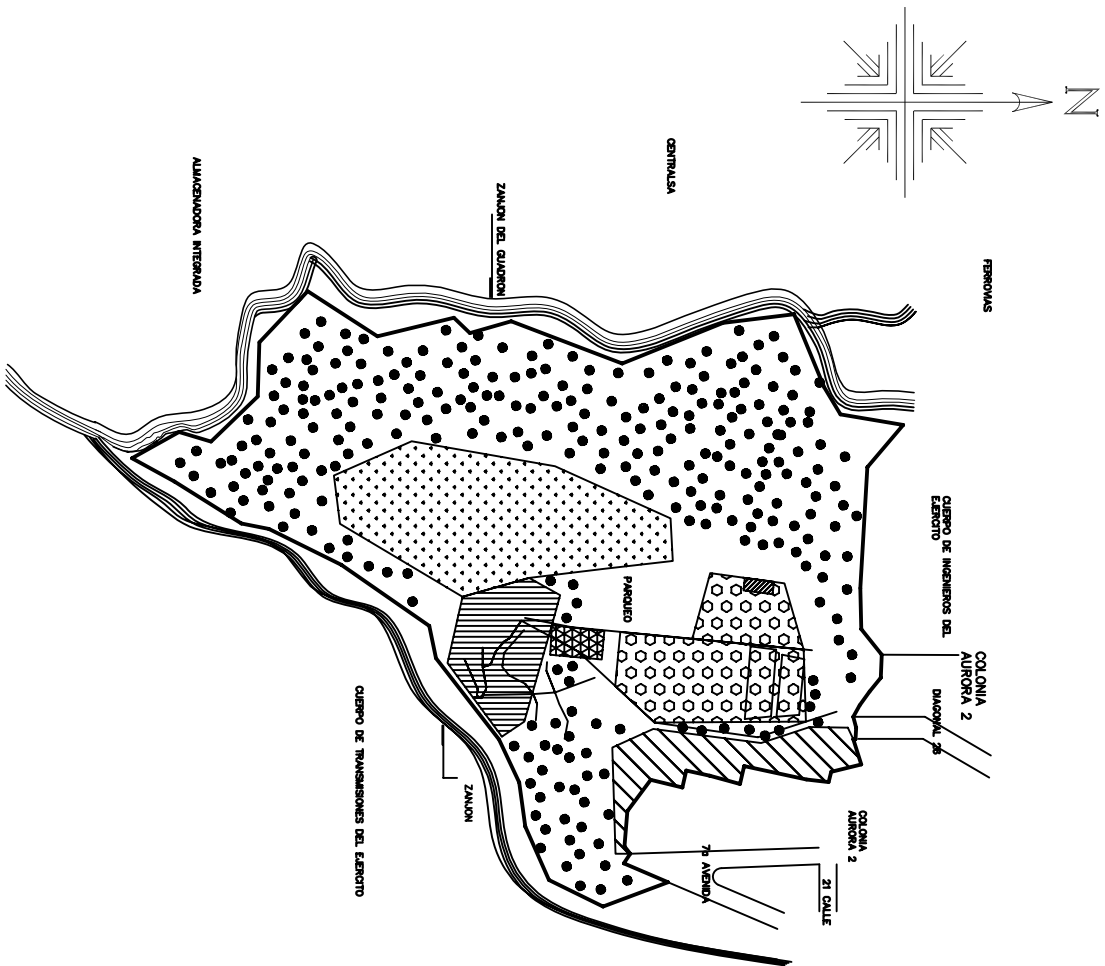
ESCALA 1:250

| LOCALIZACIÓN DEL CANAL | | | | | |
|------------------------|-------|-----------------|--------|-----------|---------------------|
| EST. | P. O. | RUMBO | D. H. | ELEVACIÓN | OBSERVACIONES |
| 0 | | | | | ENTRADA 7A. AVENIDA |
| 1 | | S 58° 44' 42" W | 107.41 | 1448.60 | |
| 2 | | S 56° 44' 21" W | 109.84 | 1447.53 | |
| 3 | | S 54° 10' 44" W | 114.21 | 1445.72 | |
| 4 | | S 49° 56' 19" W | 121.07 | 1438.54 | |
| 5 | | S 47° 14' 39" W | 124.38 | 1435.46 | |



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

| | | | |
|---|--|---------|--------------|
| PROYECTO: | MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ING. ARTURO PAZOS | ESCALA: | 1:250 |
| TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERIA CIVIL | | FECHA: | FEBRERO 2010 |
| ESTUDIANTE: | JOSÉ RAFAEL BELTRAN JUÁREZ | CARNÉ: | 2003-21000 |
| | CANAL DE DESCARGA | HOLA: | 2 |
| | | HOLA: | 3 |



| LEYENDA | |
|---------|----------------------------------|
| SIMBOLO | SIGNIFICADO |
| | INSTALACIONES DE LA ESCUELA |
| | HOSPEDAJE DE BECARIOS PROYECTADO |
| | LABORATORIO PROYECTADO |
| | EXPERIMENTACION DE TECNOLOGIA |
| | PASTO REGADO CON AGUAS NEGRAS |
| | SISTEMAS DE LAGUNAS DE OXIDACION |
| | GRANJA EXPERIMENTAL |
| | BOSQUE |
| | CANAL DE DRENAJE |
| | CAMINO DE ACCESO A SISTEMAS |



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

| | | | |
|---|--|---------|--------------|
| PROYECTO: | MEJORAMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ING. ARTURO PAZOS | ESCALA: | 1:1000 |
| TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERIA CIVIL | | FECHA: | FEBRERO 2010 |

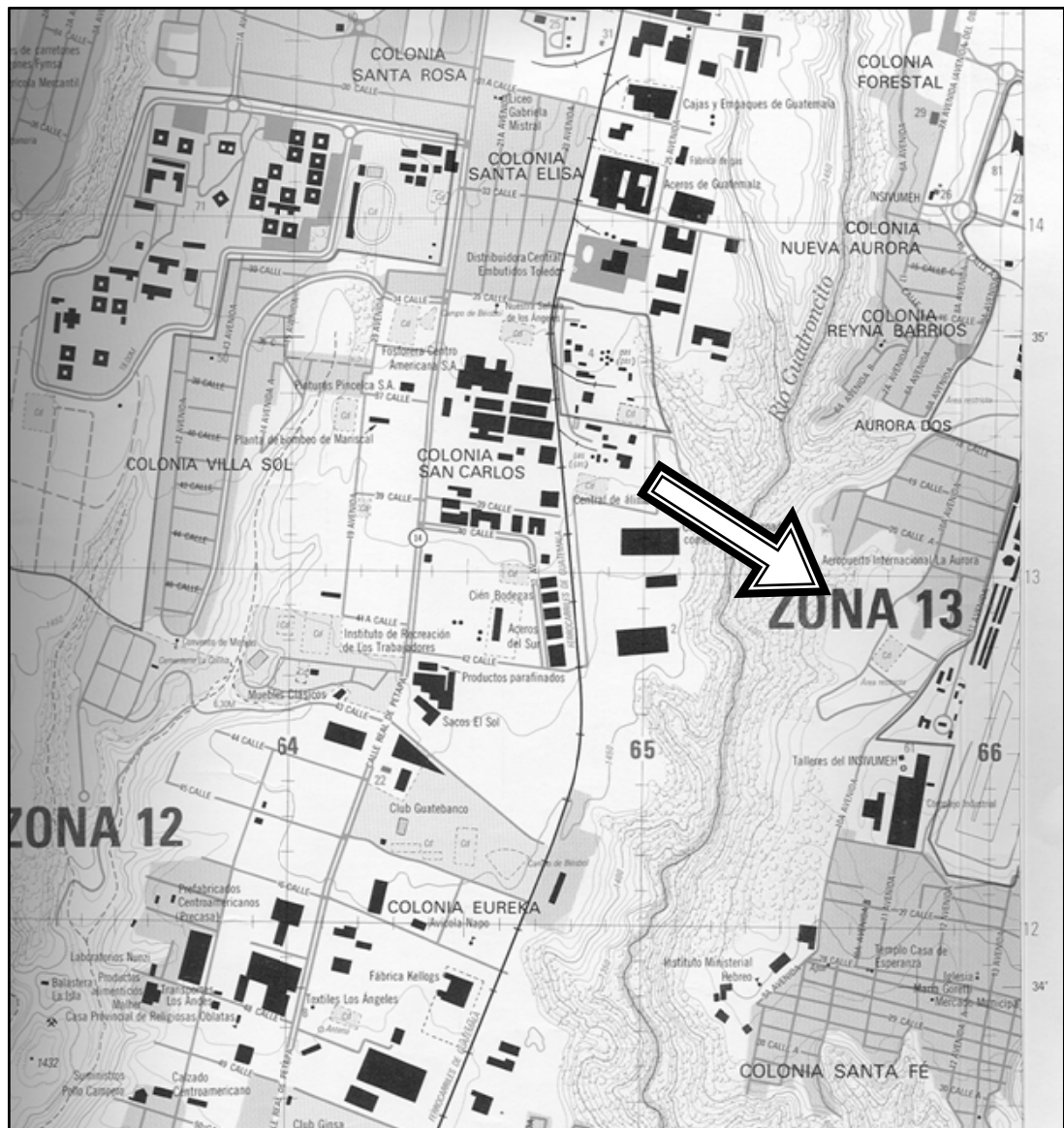
| | |
|----------------------------|------------|
| ESTUDIANTE: | CARNE: |
| JOSÉ RAFAEL BELTRÁN JUÁREZ | 2003-21000 |

| | |
|----------------------------------|------|
| DISTRIBUCIÓN PROYECTADA DE ÁREAS | |
| HORA | HORA |
| 1 | 3 |

ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

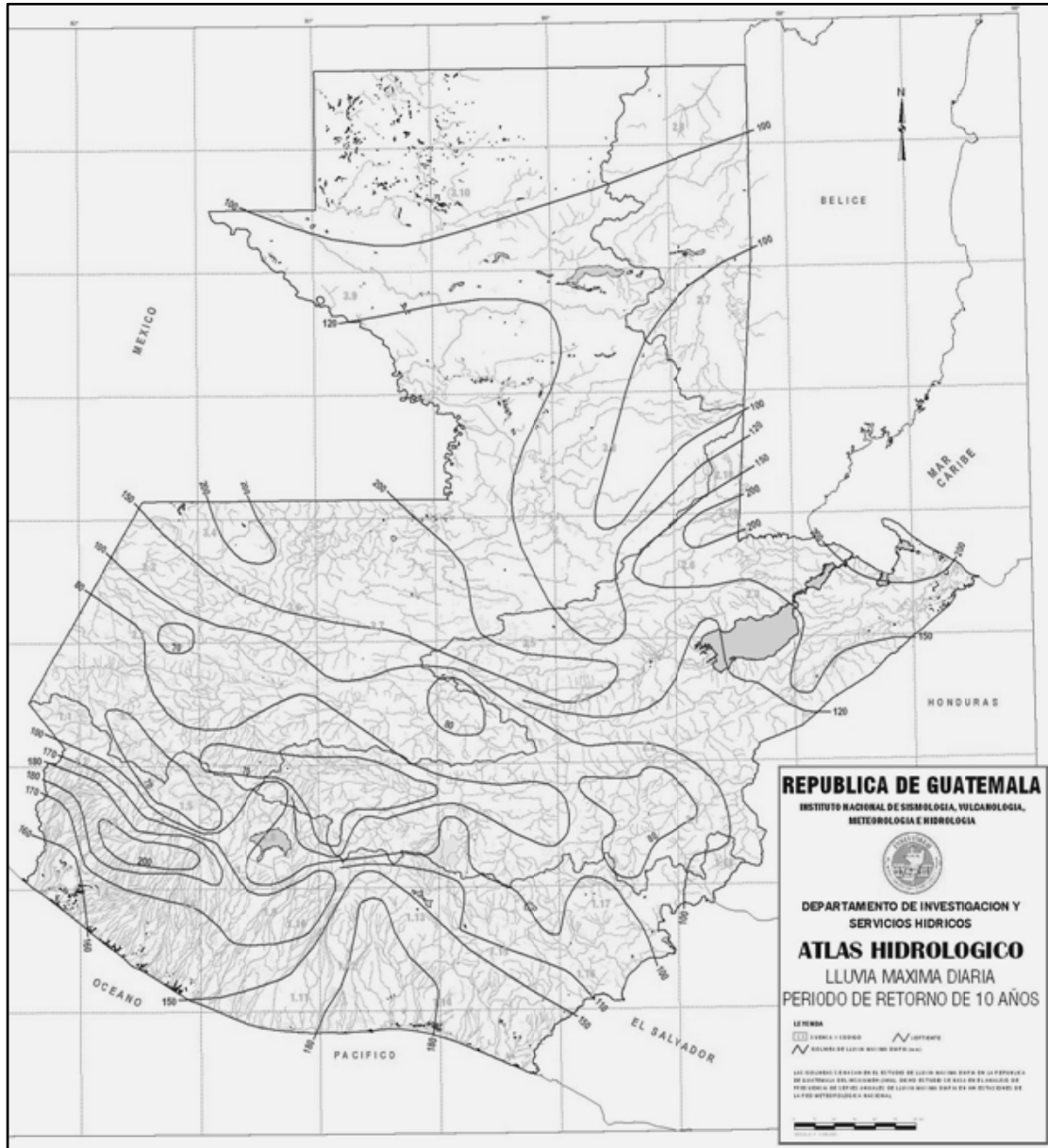
ANEXOS

Figura 37. Sección de hoja cartográfica número 3, Ciudad de Guatemala



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 38. Mapa de precipitaciones en Guatemala



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.