



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

**DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE
COLONIAS ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA
ROBLES II, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

Carlos Arturo Díaz Bolaños

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE COLONIAS
ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II, SAN JUAN
SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

CARLOS ARTURO DÍAZ BOLAÑOS

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2008

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De Leon Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Meía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Sergio Castañeda Lemus
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Lemus
EXAMINADOR	Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
SECRETARIO	Inga. Marcia Tvonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE COLONIAS
ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II, SAN JUAN
SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, el
24 de agosto de 2004



CARLOS ARTURO DÍAZ BOLAÑOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EPS. MAO.SUP. 008.2005

Guatemala,
14 de febrero de 2005

Ingeniero
Ángel Roberto Sic García
Coordinador de EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetable Ingeniero Sic García.

Por medio de la presente, envío a usted el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), titulado: DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE COLONIAS ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II

Este trabajo lo desarrolló el estudiante CARLOS ARTURO DÍAZ BOLAÑOS quien fue asesorado y supervisado por el suscrito.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley, solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente.

"D Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Manuel Alfredo Arivillaga Ochoaeta
Supervisor de EPS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 10 de octubre de 2005

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar Álvarez.

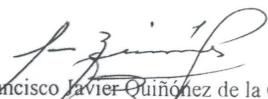
Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE COLONIAS ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, en la parte concerniente al Proyecto de Adoquinamiento, elaborado por el estudiante universitario **Carlos Arturo Díaz Bolaños**, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Díaz Bolaños**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS.


Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales
Facultad de Ingeniería - USAC

c.c.: Archivo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 2 de noviembre de 2005

Ing. Oswaldo Romero Escobar Álvarez
Director de la Escuela De Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Escobar Álvarez:

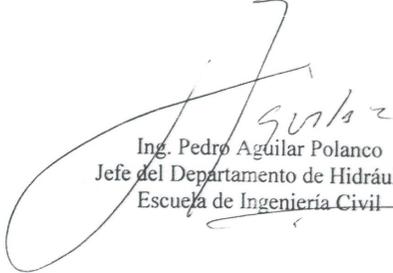
Actualmente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE LAS COLONIAS ROBLES I Y ROBLES II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA”**. Este trabajo lo desarrolló el estudiante **CARLOS ARTURO DÍAZ BCLAÑOS**.

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 y del Coordinador de la Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da **POR APROBADO** en lo referente al alcantarillado sanitario, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



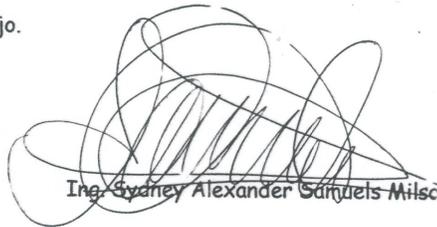
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

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. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y de la Directora de la Unidad de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Arturo Díaz Bolaños, titulado DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE COLONIAS ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuels Milsc



Guatemala, noviembre 2008.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.459.08

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: **DISEÑO DE RED DE DRENAJE DE AGUAS NEGRAS DE COLONIAS ROBLES I Y II Y ADOQUINAMIENTO DE COLONIA ROBLES II, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario, **Carlos Arturo Díaz Bolaños,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2008

/cc
cc. archivo

DEDICATORIA

A:

Mis padres:

Mario Arturo Díaz Arauz

Dora Alicia Bolaños de Díaz

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por su colaboración a:

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga

Jacobo Quan Hidalgo

Sergio Rosales

Por su apoyo a:

Mi hermana: Silvia

Mi tía: Rosy

Mi abuelita: Berta Arauz García Viuda de Díaz

Mis amigos:

René Barrios

Alejandro Calderón

Gabriela Garrido

Ligia Hun

Ronald Macz

Juan Carlos Maltez

Mauricio Palacios

Álvaro Yllescas

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. INVESTIGACIÓN MONOGRÁFICA	
1.1 Características de la población	1
1.1.1 Aspectos generales	1
1.1.1.1. Localización geográfica	1
1.1.1.2. Vías de acceso	2
1.1.2. Aspectos sociales	2
1.1.2.1. Población	2
1.1.2.2. Educación	2
1.1.2.3. Vivienda	2
1.1.3. Aspectos económicos	3
1.1.3.1 Servicios públicos	3
1.1.3.2 Actividades económicas	4
2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	
2.1 Planimetría	5
2.2 Altimetría	5
3. DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE	
3.1 Censo poblacional	7
3.2 Diseño de la red	8
3.2.1. Consideraciones generales	8

3.2.1.1.	Caudal	8
3.2.1.2.	Tirante o profundidad de flujo	9
3.2.1.3.	Velocidad de flujo	9
3.2.1.4.	Pendientes	9
3.2.2.	Caudal de diseño	10
3.2.2.1.	Caudal doméstico	10
3.2.2.2.	Factor de retorno	11
3.2.2.3.	Caudal por conexión ilícita	11
3.2.2.3.1.	Intensidad de lluvia	11
3.2.2.3.2.	Porcentaje de coeficiente de escorrentía	11
3.2.2.4.	Conexión ilícita	12
3.2.2.5.	Caudal comercial	12
3.2.2.6.	Caudal industrial	13
3.2.3.	Factores a utilizar	13
3.2.3.1.	Factor de Harmond	13
3.2.3.2.	Factor de caudal medio	13
3.2.3.3.	Factor de rugosidad	14
3.2.4.	Fórmula de Manning	15
3.3.	Cotas invert	16
3.4.	Diámetro de tubería	18
3.5.	Profundidad de tubería	18
3.6.	Ubicación de pozos de visita	18
3.7.	Cálculo de un tramo de drenaje	19
3.8.	Tratamiento de aguas residuales	26
3.8.1.	Tipos de tratamientos de aguas residuales	26
3.8.1.1.	Tratamiento preliminar	27
3.8.1.2.	Tratamiento primario	27
3.8.1.3.	Tratamiento secundario	28
3.8.1.4.	Cloración	29

3.9.	Propuesta de planta de tratamiento	31
3.10.	Desfogue	32
	3.10.1. Localización del desfogue	32
	3.10.2. Diseño	33
4.	PAVIMENTO DE ADOQUÍN	
4.1.	Definición	35
4.2.	Tipos de pavimento	35
4.3.	Antecedentes históricos	36
4.4.	Elementos que componen la estructura del pavimento de adoquín	38
	4.4.1. Subrasante	38
	4.4.2. Capa sub-base y base	40
	4.4.2.1. Sub-base	40
	4.4.2.2. Base	41
	4.4.3. Lecho o cama de asentamiento	41
	4.4.4. Capa de rodadura de adoquines de concreto	42
	4.4.4.1. Bloques prefabricados	43
	4.4.4.2. Elementos de confinamiento	43
	4.4.4.3. Relleno de juntas	44
4.5.	Construcción	44
	4.5.1. Preparación de la subrasante	44
	4.5.2. Preparación de base y/o sub-base	45
	4.5.3. Ejecución de los bordes de confinamiento	46
	4.5.4. Extendido y nivelación de la capa de arena	46
	4.5.5. Colocación de los adoquines	46
	4.5.6. Compactación y vibrado	47
	4.5.7. Relleno de juntas con arena	47
4.6.	Estudio de suelos	47
	4.6.1. Ensayo para la clasificación del suelo	47

4.6.1.1.	Análisis de granulometría	48
4.6.1.2.	Límites de consistencia	50
4.6.1.2.1.	Límite líquido	51
4.6.1.2.2.	Límite plástico	52
4.6.1.2.3.	Índice plástico	52
4.6.1.3.	Índice de grupo	52
4.6.2.	Ensayos para el control de la construcción	53
4.6.2.1.	Determinación del contenido de humedad	54
4.6.2.2.	Densidad máxima y humedad óptima	54
4.6.3.	Ensayos para la determinación de la resistencia del suelo	58
4.6.3.1.	Ensayo del valor soporte del suelo (CBR)	58
4.7.	Diseño del espesor del pavimento	64
4.7.1.	Adaptación del método de Mills al diseño del espesor de pavimento de adoquín	64
4.7.1.1.	Tránsito	65
4.7.1.2.	Capa de rodadura o superficie	66
4.7.1.3.	Lecho de asiento	67
4.7.1.4.	Capa base	68
4.7.1.5.	Capa sub-base	69
4.7.1.6.	Espesor adicional por mal drenaje	71
4.7.1.7.	Sustitución de materiales	73
4.7.1.8.	Otras consideraciones	73
4.7.2.	Presentación de resultados	77
4.7.3.	Diseño final de pavimento	77
4.8.	Especificaciones del pavimento de adoquín	81
4.8.1.	Diseño geométrico del pavimento	81
4.8.1.1.	Diseño planimétrico	81
4.8.1.2.	Diseño altimétrico	81

4.8.2.	Normas de calidad y métodos de fabricación del adoquín	82
4.8.2.1.	Dimensiones y forma	82
4.8.2.2.	Área de fabricación de los adoquines	82
4.8.2.3.	Material y fabricación	82
4.8.2.4.	Características de calidad	84
4.8.2.5.	Ensayos	85
4.9.	Proceso de construcción del pavimento	86
4.9.1.	Descripción y métodos de fabricación de los adoquines	86
4.9.2.	Construcción del pavimento	87
4.9.2.1.	Nivelación del pavimento de adoquín	87
4.9.2.2.	Colocación del lecho de asentamiento del adoquín	87
4.9.2.3.	Relleno de juntas	88
5.	PRESUPUESTOS	
5.1.	Presupuesto de red de drenaje	89
5.2.	Presupuesto de pavimentación	92
5.3.	Presupuesto de planta de tratamiento y desfogue	93
5.4.	Resumen del presupuesto	94
6.	RIESGO Y VULNERABILIDAD	
6.1.	Concepto de riesgo	95
6.1.1	Evaluación y valoración del riesgo	95
6.1.2.	Determinación del riesgo	96
6.2.	Concepto de vulnerabilidad	96
6.3.	Factores de vulnerabilidad y riesgo	97
6.3.1.	Amenaza natural	97
6.3.2.	Desastre natural	97

6.3.3.	Reducción de desastres	97
6.3.4.	Prevención	98
6.3.5.	Mitigación	98
6.4.	Riesgo y vulnerabilidad del proyecto	98
6.4.1.	Riesgo y vulnerabilidad de la red de drenaje	98
6.4.1.1.	Medidas de mitigación	99
6.4.2.	Riesgo y vulnerabilidad del pavimento de adoquín	99
6.4.2.1.	Medidas de mitigación	99
7.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
7.1	Datos generales	101
7.2	Ubicación general del proyecto	101
7.3	Descripción del proceso	102
7.4	Control ambiental	103
7.5	Plan de mitigación	104
8.	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	
8.1	Cronograma de red de drenaje	105
8.2	Cronograma de pavimento de adoquín	106
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES	109
	ANEXOS	111
	BIBLIOGRAFÍA	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización de Colonias Robles I y II	3
2.	Curva de control de varios suelos	57
3.	Espesor de pavimento según CBR	75
4.	Espesor de pavimento según índice de grupo	76
5.	Planta general de lotificación	111
6.	Red de drenaje	113
7.	Planta-perfil de drenaje sanitario	115
8.	Planta-perfil de drenaje sanitario	117
9.	Planta-perfil de drenaje sanitario	119
10.	Planta-perfil de drenaje sanitario	121
11.	Planta-perfil de drenaje sanitario	123
12.	Detalle de drenaje	125
13.	Planta-perfil de adoquinamiento	127
14.	Planta-perfil de adoquinamiento	129
15.	Detalles de drenajes	131
16.	Perfil de propuesta de planta de tratamiento	133
17.	Planta de propuesta de planta de tratamiento	135
18.	Resultado de límites de Atterberg	137
19.	Análisis de granulometría	138
20.	Ensayo de compactación	139
21.	Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)	140

TABLAS

I	Coeficientes de escorrentía	11
II	Factores de rugosidad	14
III	Profundidades mínimas para cota invert	16
IV	Cálculo de red de drenaje (primera parte)	23
V	Cálculo de red de drenaje (segunda parte)	24
VI	Cálculo de red de drenaje (tercera parte)	25
VII	Tabla de retenido de pesos de análisis de granulometría	49
VIII	Especificación de prueba de laboratorio de Proctor	55
IX	Valores de penetración de Proctor	63
X	Clasificación de tráfico	65
XI	Espesores mínimos recomendados para capa de rodadura de adoquín	66
XII.	Espesores mínimos recomendados para capa base	68
XIIA	Porcentaje de materiales que pasa en tamices	69
XIII	Relación de resultados de CBR y espesor mínimo de material de recubrimiento	71
XIV	Espesores mínimos recomendados para sub-base y factor de incremento debido a mal drenaje	72
XV	Valores mínimos a la compresión del adoquín	84
XVI	Presupuesto de drenajes (colectores)	89
XVII	Presupuesto de drenajes (pozos)	90
XVIII	Presupuesto de drenaje (pozos y precio total)	91
XIX	Presupuesto de planta de tratamiento (global)	92
XX	Presupuesto de desfogue	92
XX1	Presupuesto de adoquín	93
XXII	Resumen de presupuesto	94
XXIII	Cronograma de drenaje sanitario	105
XXIV	Cronograma de adoquinamiento	106

GLOSARIO

Adoquines:	Bloques de concreto fabricados en moldes, que son llenados de concreto manualmente o con máquinas.
Aeróbico:	Condición en la cual hay presencia de aire u oxígeno libre.
Aguas negras:	El agua que se desecha, después de haber servido para un fin. Puede ser doméstica, comercial o industrial.
Aguas residuales:	Sinónimo de aguas negras.
Aguas servidas:	Sinónimo de aguas negras.
Amenaza:	La probabilidad de ocurrencia dentro de un tiempo y lugar determinado, de un fenómeno natural o provocado por la actividad humana y que se torna peligroso para las personas, edificaciones, instalaciones, sistemas y medio ambiente.
Anaeróbico:	Condición en la cual hay ausencia de aire u oxígeno.
Apisonado:	Sistema de compactación que consiste en hacer pasar un rodillo sobre la masa del terreno, cuyos vacíos se requiere suprimir.
Azimut:	El azimut verdadero de una visual a un objeto terrestre, es el ángulo formado por su dirección horizontal y la del norte verdadero, determinado astronómicamente. El azimut se mide en el sentido de las agujas del reloj.

- Bacteria:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos y carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento, incluyendo oxidación biológica, digestión, nitrificación y desnitrificación.
- Banco de marca:** Es el lugar que tiene un punto fijo, cuya elevación se toma como referencia para determinar la altura de otros puntos.
- Banqueta:** Escalón o acera que se deja a cada lado de una calle, alcantarilla o canal.
- Base:** Capa soporte, formada de suelo granular estabilizado que va directamente debajo de la carpeta de rodadura y de la capa de asiento, cuando la lleva. Tiene como función contribuir fuertemente a la capacidad de soportar cargas del pavimento; distribuyendo la carga recibida, hasta la subrasante, a un nivel de esfuerzos adecuados a ésta última.
- Bases de diseño:** Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias de diseño, que sirven para el dimensionamiento de los distintos elementos que conforman el alcantarillado sanitario. Los datos generalmente incluyen al número de habitantes, caudales de aguas negras residuales, etc.
- Bombeo:** Es el fenómeno que produce la eyección forzada por las juntas y bordes del pavimento de una suspensión en agua de los suelos finos de la subrasante, debido al paso frecuente de cargas pesadas.

Bordillo:	Elemento estructural longitudinal, generalmente de concreto, que sobresale de la pista y sirve para dar alineamiento a las calles y banquetas y que funciona como cauce de las aguas superficiales y brinda confinamiento y consolidación a las estructuras de rodadura. Puede contener el empuje de las ruedas de un vehículo.
Candela:	Receptáculo donde se reciben las aguas negras provenientes del interior de la vivienda y las conducen al sistema de drenaje.
Capa de asiento:	Capa de arena de río sobre la cual se asientan los adoquines.
Carpeta de rodadura:	Capa superficial que soporta directamente las cargas de los vehículos y sirve de protección a las estructuras subyacentes, y para hacer adecuada y durable la superficie al tránsito todo el tiempo.
Caudal:	Es la cantidad de agua que se conduce por la tubería en un tiempo determinado; se expresa en litros por segundo.
Caudal de diseño:	Es la suma de los caudales que pasan por una sección de la alcantarilla.
Caudal de infiltración:	Es el caudal de agua superficial que se infiltra por las paredes del sistema.
Caudal doméstico:	Es el caudal de aguas negras proveniente de las viviendas.

Caudal industrial:	Volumen de aguas negras que se desechan en la industria.
Colector:	Conjunto de tuberías que conducen las aguas negras.
Concreto:	Material resultante de la combinación de cemento, agua y agregados pétreos dosificados adecuadamente.
Conexión domiciliar:	Tubería que conduce las aguas negras desde la candela hasta el colector principal.
Cota invert:	Cota o altura de la parte inferior interior del tubo ya instalado.
Curado:	Consiste en mantener húmedas las superficies para impedir la rápida evaporación del agua de amasado, con el fin de minimizar la refracción del concreto y evitar su agrietamiento por brusca de desecación.
Descarga:	Lugar a donde se vierten las aguas negras provenientes de un colector, sean curadas o tratadas.
Desfogar:	Salida del agua de desecho en un punto determinado.
Dotación:	Cantidad de agua que se asigna a una persona en un tiempo determinado.
Formaleta:	Conjunto de obra falsa y molde para una fundición o para la construcción de mampostería.

Fundición:	Cortes o separaciones que se establecen entre dos partes contiguas de una construcción. Empalme, unión.
Lodo activado:	Lodo recirculado del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración.
Llave de confinamiento:	Es un elemento estructural igual a un bordillo, interrumpido en su construcción a nivel de pista, que sirve para limitar áreas adoquinadas y evitar con ello el deslizamiento de los adoquines y el deterioro, por arrastre, de otras estructuras de rodadura o de base.
Molde:	Pieza de metal, u otro material, en la que se hace en hueco la figura del adoquín que se quiere fabricar.
Monografía:	Breve descripción de las características físicas, económicas, sociales y culturales de una región o pueblo o tratamiento específico de un tema.
Nivelación:	Término general que se aplica a cualquiera de los diversos procedimientos altimétricos, por medio de los cuales se determinan elevaciones o niveles de puntos determinados.
Pavimento:	Es una estructura que descansa sobre el terreno natural, formada por diferentes capas que, regularmente, y, como requerimiento máximo, son: subrasante, sub-base, base, capa de rodadura y sello; con el propósito de conformar una superficie funcional y durable para el tránsito de vehículos, principalmente. La capa de rodadura es la que designa el tipo de pavimento.

- Permeabilidad:** Propiedad que tienen los suelos de dejar pasar el agua a través de sus poros.
- Planimetría:** Parte de la topografía que enseña a medir las proyecciones horizontales de una superficie.
- Porcentaje de escorrentía:** Porcentaje del agua pluvial que va a la alcantarilla.
- Pozo de visita:** Estructura subterránea que sirve para cambiar de dirección, pendiente, diámetro, unión de tuberías, y para iniciar un tramo de drenaje.
- Sub-base:** Capa debajo de la base, de menor calidad que ella (material selecto), y que tiene una función completamente de soporte y de distribución de cargas ante una mala subrasante; sobre la cual se coloca.
- Subrasante:** Capa de 30 cms. de espesor mínimo, generalmente formada del mismo suelo de la terracería, que constituye el cimiento de los pavimentos. Por esta razón es de suma importancia la calidad y compactación de la misma.
- Vulnerabilidad:** Grado de daño susceptible que experimentan las personas, edificaciones o sistemas, cuando están expuestas a la ocurrencia de un fenómeno.

RESUMEN

Las colonias Robles I y Robles II están localizadas en el municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala. En las visitas de campo realizadas a estas localidades, se determinó que carecen de la infraestructura necesaria y servicios básicos, como calles adoquinadas y red de drenaje de aguas negras.

Se puede observar que por estas razones, estas comunidades viven en condiciones inadecuadas de salubridad, ya que las aguas negras y pluviales recorren las calles de terracería, provocando encharcamientos.

Por esta razón, estas calles constituyen la fuente principal de enfermedades respiratorias y gastrointestinales.

El presente trabajo de graduación propone dar solución a estos problemas de infraestructura, al proponer lo siguiente:

- El adoquinado de sus calles, haciendo topografía y estudios de suelos para ver las características del mismo y diseñar el espesor del pavimento por el método de Mills;
- El diseño de una red de drenaje, presentando en su contenido los aspectos técnicos que intervienen en el mismo,
- Presupuestos y planos del proyecto.

OBJETIVOS

General

- Mejorar las condiciones de vida de los vecinos de las colonias Robles I y II, proporcionándoles el diseño de pavimento de adoquín y el diseño de una red de drenaje sanitario.

Específicos

1. Proveer a la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez el diseño de red de drenajes para las colonias “Robles I” y “Robles II”.
2. Brindar a la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez el diseño de pavimentación de adoquín para la colonia “Robles II”
3. Ofrecer a los vecinos de las colonias Robles I y II el diseño de red de drenajes y diseño de adoquinamiento para su comunidad.
4. Establecer los parámetros para el diseño de una planta de tratamiento, que deberá ser diseñada por un ingeniero sanitario.

INTRODUCCIÓN

El EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (EPS), provee apoyo a las comunidades que carecen de la infraestructura necesaria en la actualidad, por medio de apoyo profesional brindado por los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería.

El presente trabajo de graduación consiste en el diseño de una red de drenaje para las colonias Robles I y Robles II, así como el diseño del pavimento de adoquín para la colonia Robles II.

Actualmente, dichos sectores presentan problemas por falta de adoquinamiento, con esto se pretende dar fin al problema de accesibilidad que tanto afecta en estas colonias, ya que resulta difícil la circulación de vehículos dentro de la misma, especialmente en época de invierno.

También se pretende mejorar las condiciones de vida y saneamiento de las comunidades, proporcionando dicho diseño de la red de drenaje de aguas negras, planta de tratamiento, eliminando así, malos olores, aguas negras a flor de tierra, enfermedades, etc.

Se presenta además, el estudio de impacto ambiental, y el riesgo y vulnerabilidad de este proyecto.

1. INVESTIGACIÓN MONOGRÁFICA

1.1 Características de la población

1.1.1 Aspectos generales

1.1.1.1. Localización geográfica

San Juan Sacatepéquez es un municipio que pertenece al departamento de Guatemala, ubicado al norte del mismo, en una hondonada llamada Pajul.

Su extensión territorial es de 242 kilómetros cuadrados y se encuentra a 1845 metros sobre el nivel del Mar. Se encuentra a 32 kilómetros de la capital de Guatemala. Sus límites son:

- Al Norte: Con el municipio de Granados, Baja Verapaz
- Al Este: Con los municipios de San Raymundo y San Pedro Sacatepéquez, del departamento de Guatemala.
- Al Sur: Con el municipio de San Pedro Sacatepéquez, del departamento de Guatemala.
- Al Oeste: Con los Municipios de San Martín Jilotepeque y El Tejar, del departamento de Chimaltenango y el Municipio de Santo Domingo Xenacoj del departamento de Sacatepéquez.

1.1.1.2 Vías de Acceso

El medio de comunicación más común de transportación son las carreteras. La principal vía de acceso a estas colonias es la antigua carretera a San Raymundo.

1.1.2 Aspectos sociales

1.1.2.1. Población

La población de este municipio es aproximadamente de 150,00 habitantes, compuesta tanto de ladinos como indígenas, quienes habitan en el área rural y en la urbana

1.1.2.2 Educación

En la cabecera municipal se cuenta con institutos de educación básica, Escuela de Ciencias Comerciales, Colegio Mixto Nocturno con educación primaria, básicos y diversificado, academias comerciales, escuelas de preprimaria, colegios privados, Sede del distrito No. 30 de educación, Oficina del Programa Nacional de Educación Bilingüe (PRONEBI) y ahora también cuenta con academia de computación.

1.1.2.3 Vivienda

El tipo de vivienda de esta región es muy variado, se incluye desde vivienda mínima con paredes y techos de lámina, viviendas con muros de adobe y techo de lámina; hasta casas de mampostería de block o ladrillo, con losas de concreto reforzado.

Figura 1. Localización de Colonias Robles I y II



San Juan Sacatepequez, Guatemala, Altitud: 1845 m. Longitud Norte: 90° 34'. Lateral Oeste 14° 42'

1.1.3 Aspectos económicos

1.1.3.1. Servicios públicos

En la cabecera municipal funciona el Hospital Infantil Anti-tuberculosis “El Bosque”, sostenido por fondos privados, especialmente el Club de Leones; un puesto de salud; Sala Hospitalaria del IGSS; Iglesia Parroquial; edificio para mercado; escuelas; alumbrado eléctrico; institutos de educación básica; academias; correos; telégrafos; teléfonos; y servicio de buses extraurbanos.

1.1.3.2 Actividades económicas

En el municipio de San Juan Sacatepéquez se desarrollan principalmente cuatro actividades económicas:

- Mercado:** Éste se encuentra en la cabecera municipal y se realiza plaza todos los días, debido a la gran población que posee y por ser sus pobladores dedicados a la agricultura, floricultura y horticultura.
- Agricultura:** Dado a la variedad de suelo existente, la tierra en productividad se dedica al cultivo de maíz, café, frijol, frutas y hortalizas; recientemente ha tomado gran auge la exportación de productos no tradicionales como ejote, suchini, flores de corte y otros, hacia Estados Unidos y Europa.
- Tapicería:** Es una industria importante en el municipio, la elaboración de muebles de fino acabado y diversidad de estilos, los que ya tienen mercado dentro de todo el país, así como en el resto de Centro América, Estados Unidos y América del Sur.
- Artesanía:** La producción artesanal es muy importante en la economía del municipio y se encuentran entre sus principales producciones los tejidos típicos de algodón, cerámica, ladrillo, teja de barro, cestería, instrumentos musicales, cohetería, cuero, joyería y velas. En el municipio se encuentran dos minas de cuarzo: Buena Vista y Los Yupos.

2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

2.1 Planimetría

La planimetría fija las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones, y en el caso de una red de drenaje sanitario es importante para localizar la red de drenaje dentro de las calles, ubicar los pozos de visita y señalar puntos que sean de importancia en el diseño de la red.

En el caso del pavimento de adoquín, es importante debido a que ya existe un trazo de calles en dicha colonia y de este dependerá el diseño a realizar.

El presente estudio se realizó utilizando el método de conservación de azimut, con poligonal cerrada, ya que ofrece la ventaja de garantizar un buen levantamiento, y permite conocer el error de cierre.

2.2 Altimetría

La Altimetría se encarga de la medición de las diferencias de nivel o elevación en diferentes puntos del terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia. La determinación de alturas o distancias verticales también se puede hacer a partir de las mediciones de pendientes o grado de inclinación del terreno y la distancia inclinada entre dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical.

El esquema vertical que da como resultado son las curvas de nivel, que son graficas del relieve del terreno sobre un plano. Éstas son líneas que unen diferentes puntos de igual altitud sobre el terreno.

Las curvas de nivel tienen las siguientes características:

- una curva de nivel nunca se cruza sobre otra
- una curva de nivel nunca se une con otra de diferente nivel
- una curva de nivel suficientemente amplia define un plano

Con la formación obtenida con los cálculos de curvas de nivel y pendientes del terreno se diseñará el sentido de flujos en las tuberías, así como las pendientes de éstas.

En el caso del diseño altimétrico del adoquinamiento se utilizan los perfiles y secciones para saber pendientes, poder trazar la rasante y en algunos casos ver si es necesario hacer movimiento de tierras.

3. DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE

3.1 Censo poblacional

Para obtener un dato más exacto de la población que habita actualmente en las colonias Robles I & II, fue necesario hacer un censo poblacional.

Esto se hizo debido a que en cualquier diseño de drenaje sanitario, se debe conocer la población actual, para poder así establecer una población futura al final del período de diseño que se va a utilizar.

Después de haber realizado el censo se hizo el conteo de la población actual siendo éste de 1,664 habitantes, se estableció que la densidad de habitantes por vivienda promedio es de 5.5 hab. /Viv. Actualmente existen alrededor de 308 lotes habitados de un total de 1079.

Para el cálculo de la población futura no fue utilizado ningún método de incremento poblacional, ya que los datos obtenidos no permitían encontrar una tasa de crecimiento en esta colonia. La población futura fue calculada tomando toda la lotificación por el número promedio de habitantes por vivienda. Lo que indicaría que en 20 años se podría tener, una población de 5,935 habitantes, en estas dos colonias.

3.2 Diseño de la red

3.2.1 Consideraciones generales

La determinación de la cantidad de aguas residuales a eliminar de una comunidad es fundamental para el proyecto de instalaciones de recolección, bombeo, tratamiento y evacuación. Además, dada la reciente tendencia de la agrupación de municipios para el tratamiento y evacuación, se deberá poder disponer de datos precisos sobre las cantidades actuales y las previstas en un próximo futuro si dichas instalaciones desean realizarse adecuadamente y sus costos deben repartirse equitativamente.

Deben determinarse los diferentes caudales que componen el flujo de aguas negras, por medio de aplicación de diferentes factores, entre los que intervienen la población, dotación de agua potable, uso de aguas en las viviendas, uso industrial, uso comercial, y sus dotaciones respectivas; intensidad de lluvia; conexiones ilícitas; cantidad de agua que puede infiltrarse en el drenaje y las condiciones económicas y sociales de la población. Para esto se describirán algunos conceptos que determinan el diseño de éste.

3.2.1.1. Caudal

El caudal de la red de drenaje se determina por el diámetro, pendiente y velocidad del flujo dentro de la tubería. El diseño del caudal se calcula como un canal abierto, es decir el agua no es conducida a presión. Deberá tener una velocidad y un tirante de flujo que cumpla con esta condición.

3.2.1.2. Tirante o profundidad de flujo

Para que la tubería funcione como canal abierto y para que el flujo arrastre los sedimentos, el tirante del flujo debe ser mayor al 10% del diámetro de la tubería, y menor del 80% de la misma.

La relación que debe verificarse es la d/D , que estará en el intervalo de 0.10 a 0.75. Donde d es el tirante de flujo y D es el diámetro a sección llena.

3.2.1.3. Velocidad de flujo

La velocidad de flujo está determinada por la pendiente del terreno, el diámetro de la tubería y el tipo de tubería que se va a utilizar. La velocidad de diseño debe estar comprendida entre 0.6 m/s y 3.0 m/s. Si se tienen velocidades menores de 0.6 m/s se tiene el problema de que no existe una auto limpieza en la tubería central, y al tener velocidades mayores a 3.0 m/s puede ocurrir un desgaste excesivo en dicha tubería.

3.2.1.4. Pendientes

Se recomienda que se utilice la pendiente natural del terreno, para evitar sobre costo por excavación excesiva.

En las áreas donde la pendiente del terreno es muy poca, se recomienda, en la medida de lo posible, acumular la mayor cantidad de caudales, para que generen una mayor velocidad.

3.2.2 Caudal de diseño

Éste es integrado de la siguiente forma:

$$Q_{Dis} = No.Hab \times F_{QM} \times FH$$

Donde:

Q_{DIS}	=	Caudal de diseño (l/s)
No. Hab.	=	Número de habitantes
F_{QM}	=	Factor de caudal medio (l/s/hab.)
FH	=	Factor de Harmond

3.2.2.1. Caudal doméstico

El caudal doméstico es la cantidad de agua que se evacúa hacia el drenaje luego de ser utilizada en las viviendas (en este caso se utilizará 150 l/hab./día). El factor de retorno afecta al caudal doméstico al ser calculado.

El caudal doméstico se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{DOM} = \frac{No.Hab \times Dot \times F.R.}{86400}$$

Donde:

Q_{DOM}	=	Caudal doméstico
No. Hab.	=	No de habitantes
Dot.	=	Dotación (l/hab/día)
F.R.	=	Factor de retorno

3.2.2.2. Factor de Retorno

El factor de retorno es el porcentaje de agua que después de ser utilizada en la vivienda, se conduce por el drenaje (en este caso se utilizará el ochenta por ciento).

3.2.2.3. Caudal por conexión ilícita

3.2.2.3.1 Intensidad de lluvia

Es la cantidad de lluvia que cae en área por unidad de tiempo, se expresa en milímetros por hora (mm. /hr)

3.2.2.3.2 Porcentaje de coeficiente de escorrentía

Es la cantidad de lluvia que escurre en una superficie y depende de la topografía y la permeabilidad del suelo, entre otros factores. Algunos valores de coeficientes de escorrentía son:

Tabla I Coeficientes de escorrentía

C	Descripción
0.70 – 0.95	Asfalto
0.80 - 0.95	Concreto
0.25-0.40	Residencias sub-urbanas
0.35 – 0.65	Patios

FUENTE: Ligia Hun. Diseño de pavimento rígido y drenaje pluvial

3.2.2.4. Conexión ilícita

Es el constituido por el agua de lluvia que llega a las tuberías como consecuencia de que algunos usuarios, conectan sus bajadas de aguas pluviales al sistema. Este caudal es perjudicial para el sistema y debe evitarse para causar daños y posible destrucción del drenaje. Se calcula como un porcentaje del total de conexiones, como una función del área de techos y patios, y su permeabilidad, así como de la intensidad de lluvia. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{360} \times \% \text{ vivienda}$$

Donde:

Q	=	Caudal de conexión ilícita (m ³ /s)
C	=	Coefficiente de escorrentía que depende de la superficie
A	=	área en hectáreas
I	=	Intensidad de lluvia en el área (mm/h)

Para cada área existe un factor de escorrentía, por lo que generalmente en un tramo se promedia el coeficiente y en el cálculo se adopta este valor.

3.2.2.5. Caudal comercial

Se define como la cantidad de aguas negras que desecha el comercio, está en función de la dotación de agua asignada para este fin, se expresa en litros por segundo.

En el caso de las colonias Robles I y Robles II, no se cuenta con comercios formales, por lo que dicho caudal se considera nulo.

3.2.2.6. Caudal industrial

Es el volumen de aguas negras que se desechan de las actividades de la industria. Se expresa en litros por segundo. Este caudal se considera nulo por no existir industrias en estas colonias.

3.2.3 Factores a utilizar

3.2.3.1. Factor de Harmond

También llamado factor de flujo instantáneo, es un factor de seguridad que involucra el número de habitantes a servir en un tramo determinado. Este factor actúa principalmente en las horas que mas se utiliza el sistema de drenaje. El factor de Harmond se debe calcular para cada tramo de la red. Su fórmula es:

$$FH = \frac{18 + \sqrt{P_f}}{4 + \sqrt{P_f}}$$

Donde:

P_f = Número de habitantes a servir, expresado en miles
 FH = Factor de Harmond

El Factor de Harmond tiene un valor que oscila entre 1.5 y 4.5, de acuerdo del tamaño de la población.

3.2.3.2. Factor de caudal medio

Es la suma de todos los caudales que se describieron anteriormente, divididos por el número de habitantes a servir. Este factor expresa el volumen de aguas negras que en promedio escurre por la alcantarilla.

El resultado de este factor debe ser mayor de 0.0020 y menor que 0.0050, en el caso de ser menor de 0.0020 se adoptara éste; y si el valor calculado estuviera por arriba de 0.0050 se tomará como valor de diseño 0.0050; siempre y cuando no esté muy alejado de los valores mencionados.

3.2.3.3. Factor de rugosidad

El factor de rugosidad expresa qué tan lisa es la superficie por donde se desplaza el flujo, y depende del tipo de material con que se construye la tubería de la red de drenaje, y éste puede variar con el tiempo.

Estos son algunos de los valores para diferentes tipos de superficie:

Tabla II Factores de rugosidad

SUPERFICIE	FACTOR MÍNIMO DE RUGOSIDAD	FACTOR MÁXIMO DE RUGOSIDAD
Superficie de mortero de cemento	0.011	0.030
Mampostería	0.017	0.03
Tubos de concreto $\phi < 24''$	0.011	0.016
Tubos de concreto $\phi > 24''$	0.013	0.018
Tubería de asbesto-cemento	0.009	0.011
Tubería de PVC	0.007	0.011

3.2.4 Fórmula de Manning

Esta fórmula se deriva de la fórmula de Chezy, que es la siguiente:

$$V = C \times \sqrt{(R \times S)}$$

Donde:

V	=	Velocidad
C	=	Constante de rugosidad
R	=	Radio hidráulico
S	=	Pendiente

Manning descubrió, mediante experimentos, que la constante C, en la fórmula de Chezy varía de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$$

- Que al sustituirla en la fórmula de Chezy y simplificando queda:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

- Que es la fórmula de Manning para canales abiertos, donde:

R	=	Radio Hidráulico
S	=	Pendiente de la tubería
n	=	Factor de rugosidad que depende de la superficie

3.3 Cotas invert

Las cotas invert son las cotas en la parte inferior del interior de la tubería cuando salen o entran a un pozo de visita.

La colocación de la tubería se debe hacer a una profundidad en la cual no sea afectada por las inclemencias del tiempo y principalmente por las cargas transmitidas por el tráfico y así evitar rupturas en los tubos.

La profundidad mínima de la cota invert para evitar rupturas es:

Tabla III Profundidades mínimas para cota invert

<i>Diámetro</i>	<i>6" y 8"</i>	<i>10"</i>	<i>12"1</i>
<i>Tráfico normal</i>	122 cm.	128 cm.	138 cm.

En el momento de diseñar el sistema de alcantarillado sanitario se deben considerar los siguientes aspectos referentes a las cotas invert de entrada y de salida de las tuberías en los pozos de visita, así como una serie de especificaciones que se deben tomar en cuenta, a continuación se indican:

Cuando a un pozo de visita entra una tubería y sale otra del mismo diámetro, la cota invert de salida estará como mínimo 3 cm. debajo de la cota invert de entrada.

$$\text{ØA} \quad \text{ØB}$$

$$\text{CIS} = \text{CIE} + 0.03$$

Cuando a un pozo de visita entra una tubería y sale otra de diferente diámetro, la cota invert de salida estará como mínimo debajo de la cota invert de entrada igual a la diferencia de los diámetros de la cota invert de entrada y salida.

$$\emptyset A > \emptyset B$$

$$CIS = CIE + ((\emptyset B - \emptyset A) * 0.0254)$$

Cuando en un pozo de visita la tubería de salida es del mismo diámetro a las que ingresan en él, la cota invert de salida mínima estará 3 cm. debajo de la cota más baja que entre.

$$\emptyset A = \emptyset B = \emptyset C$$

1. $CIS = CIE A + 0.03$

2. $CIS = CIE B + 0.03$

Cuando en un pozo de visita la tubería de salida es de diferente diámetro a las que ingresan en él, la cota invert de salida deberá cumplir con las especificaciones anteriores y se tomará el valor menor.

Sólo una de las tuberías que sale es de seguimiento, las demás que salgan del pozo de visita deberán ser iniciales.

La cota invert de salida de la tubería inicial deberá estar como mínimos la profundidad del tráfico liviano o pesado según se considera.

3.4 Diámetro de tubería

Para evitar obstrucciones de la tubería se debe diseñar su diámetro tomando en cuenta factores como velocidad, pendiente y caudal.

Según las normas del Instituto Nacional de Fomento Municipal, se debe utilizar para sistemas de drenaje sanitario un diámetro mínimo de 8” para tuberías de concreto y de 6” para tubería de PVC.

3.5 Profundidad de tubería

La determinación de la profundidad de la tubería se obtiene mediante las cotas invert. Se deberá verificar que la tubería tenga el recubrimiento adecuado para no dañarse por el paso de vehículos y peatones.

El recubrimiento mínimo que se toma es de 1.20 metros para áreas de circulación de vehículos, en algunos casos, puede utilizarse un recubrimiento menor, pero se debe estar seguro sobre el tipo de circulación que habrá en el futuro de éstas áreas. La profundidad máxima de colocación será de 8.00 metros.

3.6 Ubicación de pozos de visita

Para realizar el cálculo de la red de drenaje se utilizó el plano del terreno con los lotes que en él existen y las curvas de nivel obtenidas de la topografía, luego se procedió a verificar los tramos para ubicar los pozos de visita.

Los pozos de visita deben ir colocados en el inicio de cualquier ramal, en la intersección de dos o más tuberías, donde exista cambio de diámetro, en todas las esquinas de las calles y no deben estar situados a una distancia mayor de 100 m en tramos rectos o de 30 m en las curvas. Tomando en cuenta lo anterior se procedió a ubicar en el plano 78 pozos de visita.

Existen tramos menores de 100 m y donde no existen esquinas de calles en los que se colocaron pozos visita debido a que la topografía del terreno indicó que era más fácil la instalación de pozos cercanos debido a un incremento brusco de las curvas de nivel y por lo tanto la tubería se ubicaría muy profunda, lo que implica mayores costos.

El pozo de visita 75 se colocó al frente de dos lotes que se encuentran enfrente del barranco, se escogió ese punto porque dichos lotes son los que empiezan a contribuir al caudal de aguas residuales en el tramo y al colocarlo en alguna esquina o ser el de seguimiento del pozo de visita 70 se desperdiciaría tubería.

El PV 76 no se colocó en la esquina que sigue del PV 75 porque en el tramo se conectó la única vivienda que está situada en la calle, que está entre los dos pozos.

3.7 Cálculo de un tramo de drenaje

Para el cálculo del caudal de diseño se utilizaron los datos que se darán a continuación:

Población futura	=	$1079 \times 5.5 = 5,935$ habitantes
Factor de Retorno	=	0.8
Dotación	=	150 L/hab./día
A	=	13.75 ha.
F_{inf}	=	16500
Longitud total de tubería	=	4569.16 m

Intensidad de lluvia

$$I = \frac{4604}{t + 24} = \frac{4604}{12 + 24} = 127.89$$

Coefficiente de Escorrentía (C)

$$C = \frac{\sum (C * A)}{\sum A}$$

$$C = (0.60 \times 0.50) + (0.65 \times 0.30) + (0.75 \times 0.20)$$

$$C = 0.64$$

Caudal de Infiltración (Q_{INF})

$$Q_{INF} = \frac{F_{INF} \times L_T}{86400} = 0.8725862 \text{ L/s}$$

Caudal de Conexiones Ilícitas (Q_{CI})

$$Q_{CI} = \frac{(0.64) \times (127.89) \times (.2333 \text{ Ha})}{360} \times 1000 \times 2.5\%$$

$$Q_{CI} = \frac{CIA}{360} \times 1000 \times \% \text{ vivienda} = 1.33 \text{ L/s}$$

Caudal domiciliar (Q_{DOM})

$$Q_{DOM} = \frac{5935 \times 0.8 \times 150}{86400} = 8.24 \text{ L/s}$$

Factor de Caudal Medio

$$F_{QM} = \frac{Q_s}{No.Hab} = 0.0147 > 0.005 \Rightarrow 0.005$$

EJEMPLO DE TRAMO 1 – 2

No. de habitantes	= No. Casas x Hab. /Casa = 16 x 5.5 = 88
Factor de caudal medio	= 0.005
Caudal medio	= 0.005 x 88 = 0.44
Factor de Harmon	= (18+ 0.088)/(4+ 0.088) = 18.30/4.30 = 4.26
Caudal de diseño	= (Caudal medio acumulado) x FH = 0.44*4.26 = 1.87
Cota de inicio de terreno	= 100.28
Cota final de terreno	= 97.68
Distancia horizontal	= 65.03 m
Pendiente del terreno	= 4.00 %

A sección llena se asume una pendiente de 4.00% para tubería de concreto se obtiene por medio de la fórmula de Manning para encontrar la velocidad y flujo a sección llena

$$\text{Velocidad a sección llena (V)} = 1.82$$

$$\text{Flujo a sección llena (Q)} = 59.23$$

Se obtiene que el caudal de diseño es de 1.87 m³/s

$$\frac{q}{Q} = \frac{1.87}{59.23} = 0.031646$$

Para esta relación se obtiene:

$$\frac{v}{V} = 0.454641$$

$$\frac{d}{D} = 0.122$$

De éste se obtiene

$$\frac{v}{V} = 0.454641$$

$$\frac{v}{V} = 0.454641$$

$$v = 0.454641 \times 1.82$$

$$v = 0.83 \text{ m/s}$$

Que está entre los rangos establecidos de

$$0.60 \leq v \leq 3.0 \text{ m/s}$$

Profundidad del pozo de visita y cotas invert

La profundidad mínima es 1.22 m bajo el nivel del suelo, entonces:

$$\text{Cota inicial de terreno} = 100.28$$

$$\text{Cota invert inicial} = 100.28 - 1.22 = 99.05$$

Como la pendiente de diseño de tubería es igual a la cota del terreno (4.00%)

$$\text{Longitud de tubería} = 65.03$$

$$\text{Baja} = 65.03 \times 0.04 = 2.6012$$

$$\text{Cota invert final} = 99.05 - 2.6012 = 96.4588$$

Tabla IV Cálculo de Red de Drenaje (Primera Parte)

Cálculo Hidráulico																						
PROYECTO: INTRODUCCION SISTEMA DE DRENAJE, COLONIA ROBLES I & II																						
MUNICIPIO: SAN JUAN SACATEPEQUEZ																						
DEPARTAMENTO: GUATEMALA																						
FECHA: NOVIEMBRE 2004																						
DE	A	COTAS TERREM	DH	S %	Mo. CASAS	Saludano	LOCAL	ACUM.	S %	DIAM.	SECCION LLENA	Rebeldin	Rebeldin	Sección Parcial	COTAS INVERT	PROF. POZO	ANCHO	EXC.	OBS.			
PV	PV	INICIO	FINAL	(Mts.)	TERRENO	LOCAL	ACUM.	LOCAL	ACUM.	TUBO	P(g. V(m/s)	Q(L/s. /seg)	q/Q	V/V	INICIO	FINAL	(Mts)	(M ³)				
1	2	100.28	97.68	65.03	4.00	16	1.87	1.87	4.00%	8	1.82	59.23	0.0316	0.4546	99.08	96.46	1.22	1.22	0.60	47.60	T.C.	
2	3	97.68	95.45	65.03	3.43	22	2.55	4.43	3.38%	8	1.69	54.63	0.0810	0.6003	96.43	94.23	1.25	1.22	0.60	48.19	T.C.	
3	4	95.45	93.23	54.00	4.00	17	55	1.99	6.41	3.94%	8	1.81	58.51	0.1096	0.6558	94.20	92.07	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.
4	5	93.23	92.17	54.00	2.07	18	73	2.10	8.52	2.02%	8	1.29	41.89	0.2033	0.7846	92.04	90.95	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.
5	6	92.17	90.76	51.00	2.76	16	89	1.87	10.39	2.71%	8	1.5	48.7	0.2133	0.7943	90.92	89.54	1.25	1.22	0.60	37.79	T.C.
6	7	90.76	88.25	51.00	2.98	17	106	1.99	12.38	2.90%	8	1.56	50.45	0.2453	0.8277	89.51	88.03	1.25	1.22	0.60	37.79	T.C.
7	8	89.25	87.61	57.00	2.53	17	123	1.99	14.36	2.47%	8	1.45	48.85	0.3066	0.8794	88.00	86.59	1.25	1.22	0.60	42.24	T.C.
8	9	87.61	85.92	57.00	3.32	20	143	2.33	16.69	3.26%	8	1.66	53.82	0.3101	0.8829	86.56	84.70	1.25	1.22	0.60	42.24	T.C.
9	10	85.92	83.57	54.00	4.35	17	160	1.99	18.68	4.30%	8	1.9	61.43	0.3041	0.8770	84.87	82.35	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.
10	11	83.57	81.05	54.00	4.67	18	178	2.10	20.78	4.61%	8	1.96	63.54	0.3270	0.8954	82.32	79.83	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.
11	12	81.05	78.93	95.12	4.33	30	208	3.45	24.23	4.30%	8	1.9	61.43	0.3944	0.9404	79.80	75.71	1.25	1.22	0.60	70.48	T.C.
12	13	78.93	73.35	100.00	3.58	32	240	3.67	27.89	3.55%	8	1.82	58.23	0.4710	0.9852	75.98	72.13	1.25	1.22	0.60	74.10	T.C.
13	14	73.35	72.99	16.36	2.20	3	243	0.36	28.28	2.02%	8	1.29	41.89	0.6745	1.0736	72.10	71.77	1.25	1.22	0.60	12.12	T.C.
75	76	103.49	101.39	54.98	3.62	8	8	0.95	0.95	3.62%	8	2.18	38.6	0.0247	0.4211	102.27	100.17	1.22	1.22	0.60	40.25	T.C.
71	76	102.52	101.39	66.29	2.01	4	12	0.48	1.43	2.10%	8	1.32	42.93	0.0334	0.4616	101.30	100.12	1.22	1.27	0.60	42.08	T.C.
76	77	101.39	96.65	38.82	7.06	5	17	0.60	2.03	6.54%	8	2.33	75.52	0.0269	0.4333	99.97	97.43	1.42	1.22	0.60	30.77	T.C.
77	72	98.65	100.34	70.80	-2.39	12	29	1.42	3.45	0.40%	6	0.71	12.8	0.2736	0.6542	97.40	97.12	1.25	3.22	0.75	118.76	Tubería PVC 6"
70	71	105.57	102.52	66.63	4.98	21	21	2.44	2.44	4.98%	8	1.98	64.22	0.0380	0.4798	105.35	101.30	1.22	1.22	0.60	63.41	T.C.
71	72	102.52	100.34	36.00	6.06	11	32	1.30	3.74	6.97%	8	2.24	72.58	0.0515	0.5252	101.27	99.12	1.25	1.22	0.60	28.68	T.C.
72	73	100.34	98.90	36.00	4.00	11	11	1.30	8.49	0.60%	8	0.71	22.84	0.3700	0.9249	97.00	96.78	3.34	2.12	0.75	73.68	T.C.
74	73	98.17	98.90	21.00	-3.48	8	8	0.95	0.95	1.20%	6	1.23	21.7	0.0439	0.5018	96.95	96.70	1.22	2.20	0.70	25.15	Tubería PVC 6"
78	73	97.65	98.90	66.56	-1.88	13	13	1.53	1.53	1.09%	8	1.18	20.84	0.0734	0.5335	96.43	95.70	1.22	3.20	0.70	102.86	Tubería PVC 6"
70	65	106.57	106.27	38.88	0.77	4	4	0.48	0.48	2.00%	8	1.98	28.1	0.0171	0.3778	105.35	104.57	1.22	1.70	0.60	34.03	Tubería PVC 6"
65	66	106.27	106.31	49.27	-0.08	8	8	0.95	1.43	0.80%	6	1	17.7	0.0810	0.6021	104.54	104.15	1.73	2.16	0.65	82.38	Tubería PVC 6"
66	67	106.31	101.05	82.40	8.43	20	28	2.33	3.76	5.59%	8	2.16	70.11	0.0536	0.5314	103.77	100.28	2.54	1.22	0.65	78.25	T.C.
67	68	101.05	98.12	55.18	5.31	18	46	2.10	5.86	6.07%	8	2.26	73.16	0.0801	0.5498	100.25	96.90	1.25	1.22	0.60	40.89	T.C.
69	68	97.01	98.12	27.00	-4.11	10	10	1.18	1.18	1.00%	6	1.12	19.8	0.0566	0.5498	95.79	95.52	1.22	2.60	0.65	33.52	Tubería PVC 6"
73	68	96.90	96.12	36.00	2.05	0	0	0.00	10.97	0.60%	8	0.71	22.84	0.4782	0.9882	95.53	95.30	3.37	2.82	0.70	82.30	T.C.

Tabla V Cálculo de Red de Drenaje (Segunda Parte)

DE PV	A PV	COTAS TERREM		DH (ft.)	S % TERREM	No. CASAS		S % TERREM	DIA/	SECCIÓN LLENA	Relación V/V	Relación V/V	Relación V/V	COTAS INVERT	PROF. POZO		ANCHO	EXC.	OBS.		
		FINAL	INICIO			FINAL	INICIO								FINAL	FINAL					
65	60	106.27	105.94	38.31	0.86	4	4	0.48	6	1.58	28.1	0.0171	0.3778	0.60	105.05	104.28	1.22	1.68	0.65	35.81	Tubería PVC 6"
60	51	105.94	105.3	48.90	1.31	7	11	0.83	6	1.06	18.8	0.0700	0.5755	0.61	104.25	103.81	1.89	1.49	0.65	50.54	Tubería PVC 6"
61	52	105.3	99.67	61.85	8.10	20	31	2.33	8	2.55	82.75	0.0440	0.5018	1.28	103.44	98.45	1.86	1.22	0.65	61.91	T.C.
62	63	99.67	97.05	51.21	5.12	18	48	2.10	8	2.06	63.91	0.0859	0.6114	1.26	98.42	95.83	1.25	1.22	0.60	37.95	T.C.
64	63	95.56	97.05	39.00	-3.85	13	13	1.53	6	1	17.7	0.0865	0.6132	0.61	94.33	94.02	1.22	3.03	0.70	58.04	Tubería PVC 6"
68	63	98.12	97.05	38.00	2.82	0	0	0.00	8	0.76	24.79	0.7267	1.0904	0.83	95.27	95.00	2.85	2.06	0.70	65.12	T.C.
80	55	105.64	105.43	41.34	1.23	4	4	0.48	6	1.58	28.1	0.0171	0.3778	0.60	104.72	103.89	1.22	1.54	0.60	34.19	Tubería PVC 6"
55	56	105.43	105.3	45.53	0.29	5	9	0.60	6	1.12	19.8	0.0546	0.5355	0.80	103.96	103.41	1.57	1.86	0.65	51.18	Tubería PVC 6"
56	57	105.30	100.01	47.25	11.20	18	25	1.87	8	2.38	77.24	0.0383	0.4620	1.15	103.38	98.79	1.92	1.22	0.70	51.86	T.C.
57	58	100.01	96.35	63.89	5.73	22	47	2.55	8	2.18	70.73	0.0779	0.5928	1.29	98.76	95.13	1.25	1.22	0.60	47.34	T.C.
59	58	94.06	96.35	63.01	-3.63	19	19	2.21	6	0.94	16.6	0.1334	0.6659	0.65	92.84	92.40	1.22	3.95	0.75	122.19	Tubería PVC 6"
63	58	97.05	96.35	41.00	1.71	0	0	0.00	8	0.91	29.61	0.8541	1.1239	1.02	93.96	93.58	3.06	2.77	0.75	89.64	T.C.
55	50	105.43	103.62	41.38	4.37	4	4	0.48	6	2.35	41.68	0.0115	0.3339	0.78	104.21	102.40	1.22	1.22	0.60	30.29	Tubería PVC 6"
50	51	103.62	102.20	51.75	2.74	9	13	1.07	8	1.5	48.70	0.0318	0.4646	0.88	102.37	100.98	1.25	1.22	0.60	38.35	T.C.
51	52	102.20	98.70	29.81	11.74	8	21	0.95	8	2.57	83.27	0.0300	0.4476	1.15	99.83	97.48	2.37	1.22	0.65	34.73	T.C.
52	53	98.70	96.36	69.54	3.98	24	45	2.78	8	1.96	53.82	0.0981	0.6386	1.09	97.45	95.14	1.25	1.22	0.60	51.53	T.C.
54	53	93.72	96.36	61.00	-3.26	28	28	3.22	6	1	17.7	0.1822	0.7603	0.75	92.50	91.85	1.22	4.51	0.75	173.99	Tubería PVC 6"
58	53	96.35	96.36	41.00	-0.02	0	0	0.00	8	0.96	31.07	1.0825	1.1260	1.06	92.81	92.36	3.54	4.00	0.75	115.94	T.C.
50	41	105.82	101.76	38.84	4.74	4	4	0.48	6	2.46	43.53	0.0111	0.3310	0.81	102.40	100.56	1.22	1.22	0.60	28.43	Tubería PVC 6"
41	42	101.76	98.56	73.00	4.41	18	20	1.87	8	1.85	59.97	0.0393	0.4842	0.90	100.35	97.34	1.25	1.22	0.60	54.09	T.C.
42	43	98.56	96.47	73.00	2.86	24	44	2.78	6	1.53	49.57	0.1035	0.6454	0.99	97.31	95.25	1.25	1.22	0.60	54.09	T.C.
53	43	96.36	96.47	36.00	-0.29	0	0	0.00	8	1.23	36.75	1.0444	1.1348	1.40	91.82	91.14	4.54	5.33	0.90	150.02	T.C.
43	44	96.47	94.64	54.00	3.39	16	16	1.87	8	1.69	54.63	0.0343	0.4662	0.79	95.25	93.42	1.22	1.22	0.60	39.53	T.C.
44	45	94.64	93.15	54.00	2.76	17	33	1.99	8	1.5	48.7	0.0793	0.5684	0.90	93.38	91.93	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.
41	29	101.78	100.08	36.33	4.44	4	4	0.48	6	2.35	41.5	0.0116	0.3368	0.80	100.56	98.86	1.22	1.22	0.60	28.08	Tubería PVC 6"
29	30	100.08	98.56	70.48	2.16	14	18	1.65	8	1.32	42.83	0.0495	0.5188	0.88	98.83	97.34	1.25	1.22	0.60	52.23	T.C.
30	31	98.56	96.21	70.48	3.33	24	42	2.78	8	1.66	53.82	0.0911	0.6223	1.03	97.31	94.99	1.25	1.22	0.60	52.23	T.C.
43	31	96.47	96.21	36.00	0.68	0	0	0.00	10	0.85	43.6	1.0699	1.1243	0.90	91.10	90.80	5.43	5.41	0.80	164.77	T.C.
31	32	96.21	94.35	54.00	3.44	16	16	1.87	8	1.69	54.63	0.0343	0.4662	0.79	94.96	93.13	1.22	1.22	0.60	39.53	T.C.
32	33	94.35	92.63	54.00	3.19	18	34	2.10	8	1.61	52.16	0.0782	0.5608	0.95	93.10	91.41	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.
45	33	93.15	92.63	36.00	1.37	1	1	0.12	8	1.04	33.79	0.1179	0.7574	0.79	91.90	91.41	1.25	1.22	0.60	28.16	T.C.

Tabla VI Cálculo de Red de Drenaje (Tercera Parte)

DE PV	A	COTAS TERRENI PV	DH FINAL	S % TERRENI	S % LOCAL	No. CASAS LOCAL	SALIDA LOCAL ACUM.	S % TUBO	DIAM. PIG.	SECCION LLUBIA Vel(m/s) Pzts./seg.	Relación q/Q	Relación V/V	Vel(m/s) Pzts./seg.	COTAS INVERT INICIO	COTAS INVERT FINAL	PROF. POZO INICIO	PROF. POZO FINAL	INCHC (Mts)	EXC. (M ³)	OBS.			
																					FINAL	FINAL	FINAL
33	34	92.63	91.43	51.00	2.35	10	1.18	9.14	2.29%	8	1.39	44.94	0.2034	0.7846	1.09	91.38	90.21	1.25	1.22	0.60	37.79	T.C.	
34	35	91.43	90.36	51.00	2.10	16	1.87	11.02	2.04%	8	1.29	41.89	0.2630	0.7761	1.00	90.18	89.14	1.25	1.22	0.60	37.79	T.C.	
35	36	90.36	88.21	57.00	3.77	18	4.4	13.12	3.72%	8	1.76	56.99	0.2302	0.8132	1.43	89.11	86.99	1.25	1.22	0.60	42.24	T.C.	
36	37	88.21	86.55	57.00	2.89	20	6.4	15.44	2.84%	8	1.53	48.57	0.3116	0.8629	1.35	86.96	85.34	1.25	1.22	0.60	42.24	T.C.	
37	38	86.55	84.61	54.00	3.61	16	8.0	17.32	3.56%	8	1.73	56.21	0.3081	0.8605	1.52	85.31	83.39	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.	
38	39	84.61	82.57	54.00	3.78	18	9.6	19.42	3.72%	8	1.76	56.89	0.3406	0.9044	1.59	83.36	81.35	1.25	1.22	0.60	40.01	T.C.	
46	47	86.57	85.60	36.19	2.48	7	0.83	0.83	2.47%	6	1.77	31.42	0.0266	0.4309	0.76	85.35	84.38	1.22	1.22	0.60	26.69	Tubería PVC 6"	
47	48	85.60	83.19	66.03	3.48	12	1.42	2.25	3.46%	8	1.70	55.44	0.0406	0.4609	0.83	84.35	81.96	1.25	1.22	0.60	51.15	T.C.	
49	48	82.30	83.19	16.00	-5.93	5	0.60	0.60	2.10%	6	1.62	28.7	0.0209	0.4012	0.85	81.08	80.77	1.22	2.43	0.65	17.77	Tubería PVC 6"	
48	39	83.19	82.57	36.00	1.63	0	0.00	2.86	1.10%	8	0.96	31.07	0.0917	0.6223	0.80	80.74	80.32	2.46	2.25	0.65	58.14	T.C.	
39	40	82.57	81.67	26.32	3.42	7	0.83	23.10	0.60%	8	0.71	22.94	1.0071	1.1267	0.80	80.29	80.13	2.28	1.54	0.65	32.71	T.C.	
40	26	81.67	80.32	36.81	3.38	1	0.12	23.23	2.51%	8	1.45	46.85	0.4958	0.9693	1.45	80.10	79.10	1.57	1.22	0.60	33.33	T.C.	
1	15	100.28	100.12	41.36	0.38	4	0.48	0.48	2.60%	6	1.81	31.90	0.0151	0.3645	0.66	99.06	97.98	1.22	2.14	0.65	45.10	Tubería PVC 6"	
28	15	100.08	100.12	41.36	-0.10	4	0.48	0.48	2.60%	6	1.81	31.90	0.0151	0.3645	0.66	98.86	97.78	1.22	2.34	0.65	47.79	Tubería PVC 6"	
15	16	100.12	97.92	67.75	3.25	13	1.7	15.3	2.49	1.66%	8	1.12	36.29	0.0687	0.5739	0.64	97.75	96.70	2.35	1.22	0.65	78.61	T.C.
16	17	97.92	95.96	67.75	2.86	24	4.1	2.78	5.27	2.90%	8	1.53	49.57	0.6507	0.5965	0.91	96.67	94.71	1.25	1.25	0.60	50.91	T.C.
31	17	96.21	95.96	41.00	0.61	0	0.00	51.55	0.80%	10	1.01	51.11	1.0087	1.1366	1.15	90.77	90.40	5.44	5.56	0.60	180.38	T.C.	
17	18	95.96	94.8	54.00	2.15	16	1.87	56.70	1.06%	10	1.11	56.17	1.0450	1.1341	1.26	90.37	89.80	5.59	5.00	0.60	228.80	T.C.	
18	19	94.80	92.36	54.00	4.46	18	3.4	2.10	60.80	1.20%	10	1.16	53.70	1.0357	1.1365	1.32	89.77	89.12	5.03	3.27	0.75	168.03	T.C.
19	20	92.36	90.91	51.00	2.90	16	5.0	1.87	62.67	1.20%	10	1.16	53.70	1.0677	1.1243	1.30	89.09	88.48	3.30	2.43	0.70	102.24	T.C.
20	21	90.91	89.81	51.00	2.16	16	6.8	1.87	64.55	1.30%	10	1.21	61.23	1.0541	1.1311	1.37	88.45	87.78	2.46	2.02	0.70	80.02	T.C.
21	22	89.81	88.06	57.00	3.07	16	8.2	1.87	66.42	1.71%	10	1.36	69.83	0.6511	1.1381	1.57	87.76	86.78	1.84	1.28	0.70	62.24	T.C.
22	23	88.06	86.01	57.00	3.90	20	10.2	2.33	66.75	3.23%	10	1.90	83.14	0.7381	1.0939	2.08	86.57	84.73	1.31	1.28	0.70	51.67	T.C.
23	24	86.01	84.06	54.00	3.63	16	11.8	1.87	70.62	3.57%	10	2.01	101.80	0.6937	1.0800	2.17	84.70	82.77	1.31	1.28	0.70	48.95	T.C.
24	25	84.06	83.46	54.00	1.06	18	13.6	2.10	72.72	1.70%	10	1.36	69.83	1.0414	1.1352	1.57	82.74	81.82	1.31	1.84	0.70	55.76	T.C.
25	26	83.46	80.32	36.00	8.05	8	1.45	1.07	73.79	7.05%	10	2.80	141.81	0.5203	1.0157	2.84	81.79	79.04	1.67	1.28	0.70	40.27	T.C.
26	27	80.32	78.87	59.96	5.75	3	0.36	97.38	5.70%	10	2.53	126.13	0.7600	1.1007	2.78	79.01	75.59	1.31	1.28	0.70	54.35	T.C.	
27	28	78.87	72.86	99.24	4.02	3	0.36	97.74	3.96%	10	2.12	107.37	0.9103	1.1333	2.40	75.56	71.60	1.31	1.28	0.70	89.96	T.C.	
28	14	72.86	72.96	29.14	-0.38	2	0.24	97.98	1.20%	12	1.31	95.54	1.0256	1.1381	1.49	71.57	71.22	1.31	1.77	0.75	33.65	T.C.	

3.8 Tratamiento de aguas residuales

3.8.1. Tipos de tratamiento de aguas residuales

Se ha dicho que las aguas que quedan como residuo de la actividad humana son de origen doméstico y de naturaleza industrial. Sin duda que el mayor volumen de aguas servidas corresponden a aquellas que son propias de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas. Se calcula que cada persona consume 150 litros diarios para satisfacer estas necesidades.

El empleo del agua potable en los hogares genera agua servida que contiene los residuos propios de la actividad humana. Parte de estos residuos son materia que consume o demanda oxígeno por oxidación de ésta, como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para microorganismos. Estas aguas servidas se denominan también aguas negras o municipales y, como es sabido, se vierten en los sistemas de alcantarillado que las conducen, en la inmensa mayoría de los casos, a los cuerpos de agua, como mar, lagos y ríos, produciendo por lo tanto contaminación de estas aguas naturales.

Para caracterizar estos residuos, se utilizan una serie de parámetros analíticos que determinan su calidad física, química y biológica. Estos parámetros son la turbidez, los sólidos suspendidos, el total de sólidos disueltos, la acidez y el oxígeno disuelto. La demanda bioquímica de oxígeno que requieren los microorganismos para vivir, junto con la presencia de materia orgánica que les sirve de nutrientes, se emplea como medida de la cantidad de residuos que existen en el agua con carácter de nutrientes. El proceso usual del tratamiento de aguas residuales domésticas puede dividirse en tres etapas: 1a., tratamiento primario o físico; 2o., tratamiento secundario o biológico y 3a., tratamiento terciario que normalmente implica cloración.

3.8.1.1 Tratamiento preliminar

Éste es un pre-tratamiento que consiste en un conjunto de unidades cuya finalidad es eliminar materiales que perjudiquen el sistema de conducción, es decir proteger las bombas que se encuentran instaladas en la planta. Los dispositivos que se emplean generalmente son:

- A) Rejas de barras, rejillas y cribas
- B) Desmenzadores (cortadoras, trituradores y otros)
- C) Desarenadores
- D) Tanques de preaireación

3.8.1.2. Tratamiento primario

La sedimentación separa los sólidos decantables como aquellos que flotan. Durante esta decantación primaria existe la tendencia a que las partículas floculables formen agregados, hecho que puede ayudarse con la adición de compuestos químicos. El material que flota consiste en aceites, ceras, ácidos grasos y jabones insolubles que se conocen genéricamente como grasa.

Otro proceso es la filtración. Aquí se emplea para disminuir la velocidad de las aguas negras para que se sedimenten los sólidos, los dispositivos más utilizados son:

- A) Tanques sépticos (fosas sépticas)
- B) Tanques de doble acción Imhof
- C) Tanque de sedimentación simple con eliminación de lodos manual o mecánica.
- D) Reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA)

Al utilizar sustancias químicas se emplean otras unidades auxiliares como los son:

- A) Unidades alimentadoras de reactivos
- B) Mezcladores
- C) Floculadores

3.8.1.3. Tratamiento secundario

Se aplica para descomponer microorganismos y luego flocular la materia orgánica presente, la cual al degradarse flocula. Por que este proceso ocurre naturalmente, la aplicación de éste en aguas servidas, ejecutado reglamente, previene la contaminación de los cuerpos de agua cuando en ellos se descargan esta agua. Por lo tanto, el tratamiento biológico emplea, con diversas técnicas, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas, como nutrientes de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas para que crezca en un lugar en la cual este crecimiento no tenga influencia en el medio ambiente. Entonces este tratamiento es una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos.

El proceso de tratamiento biológico se puede dividir según el estado en que se encuentran las bacterias responsables de la degradación. La biomasa bacteriana puede estar soportada sobre superficies inertes tales como rocas, escoria, material cerámico o plástico, se habla de lecho fijo, o puede estar suspendida en el agua a tratar. En cada una de estas situaciones la concentración de oxígeno en el agua determina la existencia de bacterias aeróbicas, facultativas o anaeróbicas.

Los procesos aeróbicos con biomasa suspendida que más se aplican son las lagunas aireadas y los de lodos activos.

Las lagunas aireadas, son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno, por lo que se emplean cuando éste es un bien barato. El agua servida se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana.

Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo del clima y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación, que demora de 6 a 12 horas.

En el proceso de lodos activados, como el de lagunas aireadas, el agua servida aireada se mezcla con bacterias aeróbicas que se han desarrollado con anterioridad. Sin embargo, la mezcla del agua servida, previamente decantada, se agita por medio de bombas para que la materia esté en suspensión. La materia orgánica degradada del agua servida flocula, por lo que luego se puede decantar. La biomasa sedimentada se devuelve parcialmente al tratamiento biológico para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo.

Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en las piscinas, que es de unas 6 horas, lo que permite tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja.

3.8.1.4. Cloración

El agua tratada en un proceso de lodos activados o en lagunas aireadas puede servir para riego si previamente se somete a cloración para desinfectarla.

La cloración es parte de tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr una agua más pura, incluso potable, si se desea. Los objetivos del tratamiento avanzado son eliminar carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, desinfectarla para eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización, respectivamente.

Un problema sanitario importante que se deriva del tratamiento de aguas servidas es el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos son barros semisólidos que contienen del 0,5 a 5 % de sólidos, por lo que no tienen valor económico y si perjuicio ambiental.

Para convertir su materia orgánica en sólidos estables, reducir la masa y volumen de agua y destruir las bacterias dañinas, el lodo se concentra por sedimentación y coagulación-floculación.

Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y exponerlo al sol para evaporar su agua, hacerlo pasar sobre filtros de arena, filtrarlo a vacío o centrifugarlo para eliminar parte importante del agua. Sin embargo, ninguna de estas técnicas es completamente satisfactoria por sus costos y problemas técnicos. El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos o incinerarlo si su contenido de materia combustionable es superior a 25%. Uno de los empleos más deseable de estos lodos es usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo.

3.9 Propuesta de planta de tratamiento

En la actualidad hay que considerar que a la hora de desfogar las aguas de un alcantarillado, éstas deben estar debidamente tratadas, respetando las normas establecidas por el Ministerio de Medio Ambiente.

La propuesta de una planta de tratamiento debe tomar en consideración que la selección y diseño de un tipo de planta de tratamiento es trabajo directo de un Ingeniero Sanitario. A continuación se propone una planta de tratamiento.

Descripción general del sistema

El sistema propuesto es un sistema biológico aeróbico, de aireación extendida, lodos activados con régimen completamente mezclado, que se utiliza para tratar aguas residuales, que contienen materia orgánica biodegradable, es decir, una planta patentada.

Con esta modalidad de aireación extendida se logran afluentes de calidad, con baja producción de lodos y alto grado de oxidación y estabilización de la materia, adicionándole un sistema de cloración para la reutilización del líquido de irrigación de jardines, riego de áreas de plantaciones, terracería, etc. Este proceso involucra las siguientes etapas:

- A) Una primera acción en un tanque de aireación, donde se suministra aire por difusión en el fondo, lo que permite crecimiento de microorganismos que requieren de oxígeno para vivir. Ésta materia servirá para alimentar las bacterias aeróbicas que transforman los contaminantes en materia celular y energía para crecer y reproducirse, lo que originará flóculos (lodos activados). Básico en este proceso es el soplador

- B) El segundo componente es un complemento de aireación al proceso con los fines anunciados en la etapa anterior, y que complementa el oxígeno necesario para el volumen a tratar.

- C) Los flóculos pasarán al tanque de clarificación secundaria, donde sedimentan por gravedad los lodos. El sobrenadante es vertido al área de cloración y los lodos depositados se recirculan para retroalimentar el sistema. El exceso de lodos se deposita en un tanque de lodos para su estabilización. Una vez estabilizados se seca en el área de secado de lodos.

- D) El agua clarificada es tratada para su desinfección por medio de un sistema de cloración a base de tabletas de hipoclorito de calcio, cuando se descarga directamente un cuerpo de agua, previa reacción del cloro en un depósito, que variará de acuerdo al volumen tratado.

- E) El agua tratada puede almacenarse o verterse al acuífero, previo análisis de la capacidad de absorción del suelo. Se deberá contar con la seguridad de que sus características son adecuadas para esa disposición. Si se almacenan, su función será reutilizarlas adecuadamente. Donde el acuífero es muy alto, puede descargarse por medio de zanjas de absorción de 0.80 m. de profundidad o descargarse a un drenaje pluvial.

3.10 Desfogue

3.10.1. Localización del desfogue

El desfogue de la red de drenaje se realizará en la parte señalada en los planos.

3.10.2. Diseño

Hay varios tipos de disipadores de energía que se pueden utilizar para los drenajes de aguas negras, en este caso se decidió utilizar el conocido como disipador de energía por gradas.

Este tipo de disipador consiste básicamente en construir una serie de gradas, inmediatamente después de terminar la descarga del flujo a disipar.

El disipador por gradas es muy versátil ya que se puede utilizar tanto en caídas grandes, medianas y pequeñas. El único criterio que hay que tomar en cuenta es que la distancia horizontal entre el punto de descarga y el lecho del barranco, donde se verterá el caudal, sea suficiente para que las gradas tengan un desarrollo bastante suave y puedan cumplir con eficiencia el propósito para el cual se han proyectado.

Se propone utilizar uno de estos disipadores por ser la solución más económica, ya que no hay costos de excavación y la obra civil resulta bastante baja, aparte de que en su construcción se puede utilizar concreto pobre o concreto ciclópeo.

El único criterio que se adopta para establecer la sección de la grada a utilizar es que el ancho de la misma sea del mismo diámetro del túnel que descarga y la altura de las paredes laterales sea también igual al diámetro de la sección que descarga.

Con este criterio se está seguro que no habrá desbordamiento de agua, en vista que la velocidad de la misma se aumenta por la pendiente de las gradas que determina el terreno. Al final de las gradas se construye un depósito, que será el encargado de amortiguar la energía que imprime la velocidad del agua debido a la pendiente de las gradas, este depósito deberá verter el agua con una velocidad mínima, para evitar erosiones en el terreno donde se descarga finalmente el agua.

4. PAVIMENTO DE ADOQUÍN

4.1 Definición

Es una estructura de concreto, que tiene como función distribuir las cargas concentradas de los ejes de los vehículos, en una forma eficiente hacia las otras estructuras que lo soportan, de manera que estas no presenten fallo o deformación excesiva.

Es una capa de rodamiento conformada por elementos uniformes macizos de hormigón de alta resistencia denominados "bloques", que se colocan en yuxtaposición adosados y que debido al contacto lateral permiten una transferencia de cargas por fricción desde el elemento que la recibe hacia todos sus adyacentes, trabajando solidariamente y con posibilidad de desmontaje individual.

4.2 Tipos de adoquín

Los adoquines tienen formas y dimensiones muy variadas, pudiéndose agrupar en:

- A) *Adoquines dentados que se entrelazan entre si en los cuatro costados, que al unirse resisten el desplazamiento relativo tanto en sentido longitudinal como transversal.*
- B) *Adoquines dentados que se entrelazan entre si en dos costados, de manera que resisten desplazamientos relativos solo en las caras paralelas a los ejes longitudinales.*
- C) *Adoquines rectangulares u otras formas geométricas (trapecio, hexágonos, etc.)*

La transferencia de cargas verticales entre ellos se logra a través del frotamiento producido por la arena, que se hace penetrar en las juntas, por una acción de vibración superficial.

Los espesores más comunes de los adoquines están comprendidos normalmente entre 6 y 8 cm., llegando a 10 cm. para tránsito muy pesado. Debe cuidarse la uniformidad en las dimensiones de los bloques, porque variaciones apreciables, además de perjudicar el aspecto del pavimento, afectan la transferencia de cargas a través de las juntas. En general se aceptan variaciones de +/- 2 mm en el largo y ancho de los adoquines y de +/- 5 mm en el espesor.

Todos los bloques de un mismo tipo tienen la misma forma y dimensiones y pueden ser destrabados o desmontados individualmente. La variación de formas, dimensiones y colores permite obtener superficies de agradable aspecto estético.

4.3 Antecedentes históricos

La historia de los pavimentos con adoquines se inicia prácticamente con nuestra civilización. Cuando se construyeron la Vías Romanas se emplearon bloques de piedra trabajados especialmente para obtener una superficie lisa. La duración de estas vías, muchas de las cuales todavía se pueden visitar, es el mejor testimonio de la calidad de ejecución de dichos trabajos y de la factibilidad del sistema constructivo de pavimentos segmentados.

Estas fueron construidas excavando un foso en el terreno natural hasta donde encontraran terreno firme y luego se colocaban cuatro capas cuyo espesor era de un metro a metro y medio, con un ancho de la calzada de 10 metros, y eran las siguientes:

- A) *Statumen capa de guijarros o piedra suelta, cementadas con cal, con espesor entre 25 y 60 centímetros*

- B) *Rudus o rudaratio de piedras más pequeñas machacadas y mezcladas con cal, de un espesor de unos 20 centímetros.*

- C) *Pavimentum capa de piedra poligonales de superficie labrada toscamente y de un espesor de 15 centímetros.*

- D) *Nucleus capa de arena gruesa o fina mezclada con cal y de unos 30 centímetros de espesor.*

Con la caída del Imperio Romano, se dejó la construcción de caminos con pavimentos, hasta el siglo XIII, en que se colocaron en París los primeros pavimentos, resultado que los métodos de construcción y mantenimiento no eran adecuados

Posteriormente aparecieron las superficies para el rodamiento de vehículos constituidas por adoquines de granito, ejecutadas durante muchos años en diversos países de Europa y luego en América. Una variante moderna de estas superficies son los pavimentos de adoquines intertrabados de hormigón.

En la actualidad se ha incrementado el uso de los adoquines debido a que es el más económico, ya que su colocación es sencilla y barata y además proporciona una calidad de rodadura conveniente, para vehículos que transitan a baja velocidad.

Uno de los mejores signos de que la pavimentación con adoquines de hormigón alcanzó en el mundo un alto grado de madurez, es la sucesión ininterrumpida de cinco **Conferencias Internacionales realizadas en, Inglaterra (1980), Holanda (1984), Italia (1988), Nueva Zelanda (1992) e Israel (1996) y dos Talleres Internacionales realizados en Australia (1986) y Noruega (1994).**

Este creciente interés y el gran esfuerzo de investigación desarrollado a nivel mundial, permiten que constantemente surjan nuevas áreas de aplicación para los pavimentos de adoquines y que estos puedan ser tratados hoy en igualdad de condiciones frente a los demás tipos de pavimentos de hormigón ó de asfalto. En nuestro país en las áreas urbanas y rurales predomina el uso de adoquín de concreto.

No debemos dejar de mencionar que, no existe un pavimento de comportamiento satisfactorio si el proceso constructivo no ha sido el adecuado.

4.4 Elementos que componen los pavimentos de adoquín

4.4.1 Subrasante

Es la superficie que resulta una vez terminado el movimiento de tierras. Esta puede estar en corte o en relleno. Una vez compactada, tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

Esta debe de cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y retracción, por efectos de la humedad; debe ser lo suficientemente rígida, para evitar una deformación excesiva por efecto de las cargas accidentales y tener desniveles necesarios para desalojar el agua de la lluvia fuera del área del pavimento.

La calidad de la subrasante deberá determinarse por medio de las pruebas índice (CBR, límites de Atterberg, granulometría). Dependiendo de estos resultados se rechaza o acepta el suelo.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante. La subrasante se puede considerar:

- A) Muy mala calidad: contiene demasiada materia orgánica o material suelto sin cohesión. Se debe sustituir por materiales de mejor calidad o estabilizarla con cemento, cal, materiales bituminosos, etc. en un espesor que dependerá de las cargas de diseño y de las propiedades de los materiales a utilizar en las capas restantes.
- B) Mala calidad la conforma un suelo fino limoso o arcilloso, será necesario colocar una capa de sub-base, granular de material selecto o de material estabilizado antes de la colocación de la cada base.
- C) Buena calidad la forma un suelo bien graduado con un valor soporte alto y un buen drenaje, podrá omitirse la capa de sub-base.
- D) Excelente calidad con un valor soporte muy bueno, tanto así que la carpeta de rodadura se coloca, directamente, sobre la subrasante con su cama de asiento.

4.4.2 Capa de sub-base y base

El propósito fundamental de estas capas es el de proporcionar un medio de distribución para las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de un pavimento; pero, también es importante el aislamiento de la subrasante de la humedad superficial para evitar que tenga asentamientos o deformaciones; especialmente, cuando ésta es arcillosa.

En ello radica la importancia de darle a un pavimento los espesores adecuados usando los materiales más indicados.

4.4.2.1 Sub-base

Es una capa de material clasificado construida arriba de la capa subrasante, cuyas funciones se describen a continuación:

- A) Transmitir los esfuerzos a la capa subrasante en forma conveniente.
- B) Constituir una transición entre los materiales de la base y de la capa subrasante, de modo tal que evite la contaminación y la interpretación de dichos materiales.
- C) Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.
- D) Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, mismas que pueden satisfacerse normalmente con un material más barato que el de la base.

D) Contribuir en algunos casos al drenaje de la carretera

4.4.2.2 Base

Tiene como finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir los esfuerzos a la sub-base y a la subrasante.

Las funciones esenciales de la base son:

- A) Tener Suficiente resistencia para distribuir las cargas de la capa de rodadura.
- B) Servir de material de transición entre la sub-base y la capa de rodadura.
- C) Resistir a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidos por el tránsito

4.4.3 Lecho o cama de asiento

Es una capa de arena gruesa que se coloca sobre la capa de base, inmediatamente antes de colocar el adoquinamiento.

Las funciones de esta capa son:

- A) Proporcionar un acomodamiento para los adoquines sobre la capa de base, cubriendo perfectamente las pequeñas irregularidades que ésta pudiera tener.
- B) Ofrecer una sustentación y apoyo uniformes en toda la superficie de cada adoquín.

- C) Servir también para drenar el agua que pudiera infiltrarse en las juntas de los adoquines evitando así que penetre en la base dañándola.

El espesor de la capa de arena una vez compactada, debe ser de 2 a 3 cm.

Para la construcción de este lecho deberán usarse arenas naturales, de río o de mina, con las siguientes características:

- Tamaño máximo de grano de 5mm.
- No debe contener materia orgánica
- Puede usarse arenas bien graduadas, pero sin finos arcillosos (material que pasa la malla No. 200)

4.4.4 Capa de rodadura de adoquines de concreto

El propósito de construir una capa de rodadura o carpeta sobre la estructura del pavimento es proveer una superficie que cumpla las siguientes funciones:

- A) Ofrecer una superficie de rodadura lisa y uniforme.
- B) Resistir con un desgaste mínimo los esfuerzos producidos por las llantas de los vehículos
- C) Proteger las capas inferiores de los efectos del sol, las lluvias y el frío.

La capa de rodadura construida con adoquines de concreto cumple satisfactoriamente con estos requisitos. Además, reúne las características positivas de los pavimentos de concreto, las ventajas de los pavimentos flexibles, agregando las ventajas derivadas de la prefabricación, facilidad de colocación y remoción, etc.

La capa de rodadura construida con adoquines de concreto consta de los siguientes elementos:

4.4.4.1 Bloques Prefabricados

Los adoquines que se utilizan actualmente son bloques de concreto que se fabrican por medio de moldes; se puede hacer llenando los moldes manualmente, con pequeñas máquinas vibrocompactadoras semimanuales o fabricados con grandes máquinas automáticas que producen adoquines vibro-prensados de gran calidad.

La forma ideal del adoquín no esta científicamente definida y actualmente se ha utilizado variedad de formas geométricas que casan entre sí.

4.4.4.2 Elementos de Confinamiento

En cualquier adoquinado es indispensable confinar la arena del techo y restringir la tendencia de los bloques a desplazarse lateralmente, se logra por varios medios:

- A) Bordillo fundido en el lugar
- B) Bordillo prefabricado
- C) Adoquines laterales especiales

Para acoplar las juntas sinuosas o quebradas del adoquinado la cara lateral recta del bordillo se usan “medios adoquines” o “adoquines laterales” fabricados para el efecto.

4.4.4.3 Relleno de Juntas

Las juntas que quedan entre adoquines deben ser perfectamente llenadas con un material que impida el menor movimiento de los bloques entre sí en el sentido lateral; sin embargo, no debe ser un mortero ya que este le quita su flexibilidad al pavimento y dificulta la remoción de parte del adoquinado cuando se hace necesario.

Las juntas deben tener una separación de 6 a 10 mm, llenándolas con una arena fina de río o de mina y no debe de tener materia orgánica

Para ayudar a sellar las juntas contra la infiltración de agua superficie es conveniente usar una mezcla de arena fina con arcilla en proporciones entre 5:1 a 10:1 en volumen. En este caso debe mezclarse perfectamente los materiales en seco, humedeciéndola antes de colocarla. Con esta mezcla y una vez seca, se vuelve impermeable al agua que escurre sobre el pavimento.

4.5 Construcción

La construcción de estos pavimentos se realiza en las siguientes etapas:

4.5.1 Preparación de la subrasante

Esta primera etapa de construcción del pavimento comprende la preparación y acondicionamiento del terreno natural después de haber efectuado el movimiento de tierras para ajustarlo a los alineamientos, perfiles y secciones indicadas en los planos, como para lograr los requisitos de compactación indicados.

Una vez efectuado el trazo topográfico y la nivelación, se procederá a realizar el trabajo en las siguientes etapas:

- A) Remoción de materiales inadecuados de la subrasante.
- B) Carga y transporte de material sobrante.
- C) Conformación y afinamiento, para mezclar y homogenizar el material y el espesor requerido de subrasante.
- D) Adición de agua para que llegue a su contenido de humedad óptima de compactación.
- E) Compactación.
- F) Verificación del grado de compactación
- G) Protección de la subrasante, cubriéndola con una capa del material de la sub-base para evitar que sea erosionada o que pierda sus cualidades.

4.5.2 Preparación de la sub-base y/o base

La preparación de la base y la sub-base se realiza de la misma forma que para otros tipos de pavimentos. El objeto de la sub-base y base es absorber las presiones que reciben de las capas superficiales y transmitir las uniformemente al terreno de fundación.

4.5.3 Ejecución de los bordes de confinamiento

Los pavimentos de adoquines precisan un elemento (cordón cuneta, cordón, etc.) que los confine lateralmente con el fin de evitar desplazamientos de los adoquines, aberturas excesivas de la juntas ó pérdidas de trabazón entre ellos. Dicho elemento debe construirse antes de la colocación del adoquinado.

4.5.4 Extendido y nivelación de la capa de arena

El objetivo básico de esta capa es servir de base para la colocación de los adoquines y proveer material para el llenado de las juntas. Debe extenderse y nivelarse de forma cuidadosa, con el fin de conseguir una capa de espesor uniforme, puesto que el pavimento solamente se compacta una vez que los adoquines se colocaron.

Para ello se puede utilizar una regla de nivelación con guías longitudinales. No debe pisarse la arena ya nivelada, por lo que la colocación de los adoquines se realiza desde el pavimento ya terminado.

4.5.5 Colocación de los adoquines

Los adoquines deben colocarse en seco sin ningún tipo de cementante entre las juntas y aproximadamente entre 1 y 1,5 cm. sobre la cota del proyecto pues la compactación posterior llevará el pavimento al nivel deseado. La superficie del pavimento debe nivelarse correctamente.

Los huecos de forma irregular entre los adoquines y los bordes de confinamiento deben rellenarse utilizando trozos de adoquín obtenidos mediante corte ó mortero de cemento Pórtland, según sea el tamaño del hueco.

4.5.6 Compactación y Vibrado

Una vez colocados los adoquines es necesario compactar el pavimento, bien con una placa vibradora ó con un rodillo vibrador.

4.5.7 Relleno de las juntas con arena

Esta operación es muy importante para garantizar un correcto comportamiento del pavimento. Se realiza extendiendo sobre el pavimento arena fina, que debe estar seca en el momento de su colocación.

Posteriormente, con una escoba dura ó un cepillo se barre para que la arena penetre en los espacios entre adoquines a la vez que se realiza un vibrado final que asegura un mejor llenado de las juntas.

4.6 Estudio de suelos

4.6.1 Ensayo para la clasificación del suelo

Es importante conocer las principales características físicas de los suelos para predecir su futuro comportamiento bajo cargas cuando un terreno presente diferentes contenidos de humedad.

4.6.1.1. Análisis de granulometría

Este sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de partículas que constituyen el suelo.

Una de las razones que han contribuido a la difusión de las técnicas granulométricas es que, en cierto sentido, la distribución granulométrica proporciona un criterio de clasificación. Los conocidos términos arcilla, limo, arena y grava tienen tal origen y un suelo se clasificaba como arcilla o como arena según tuviera tal o cual tamaño máximo.

La necesidad de un sistema de clasificación de suelos no es discutible, pero el ingeniero ha de buscar uno en que el criterio de clasificación le sea útil.

La gráfica de la distribución granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica resulta preferible a la simple presentación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos.

La forma de la curva da idea inmediata de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un sólo tamaño estará representado por una línea vertical, una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado).

Para clasificación de partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado. Su principio consiste en ordenar en forma descendente una serie de mallas (generalmente entre siete u ocho) este método de medición por tamices o mallas es muy utilizado para clasificar suelos gruesos, sin embargo, puede presentarse problemas para que pasen partículas por las mallas finas.

Para la realización de este ensayo se debe obtener el peso neto de la muestra seca pulverizada (M), procediendo luego a tamizarla; en seguida se obtiene el peso retenido en cada tamiz, elaborando un cuadro como sigue:

Tabla VII Tabla de retenido de pesos de análisis de granulometría

TAMIZ	DIAM (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL				% PASA ACUMULATI VO
		PBS	TARA	PNS	% DE M	
¾ “	19.05	A'	T	A	a	a
No. 4	4.76	B'	T	B	b	b
No. 10	2	C'	T	C	c	c
No. 40	0.42	D'	T	D	d	d
No. 200	0.07	E'	T	E	e	e
Fondo	---	F'	T	F	f	f
		PNS = M			100.00%	

FUENTE: www.monografias.com/trabajos12/suelos/suelos.shtml

El porcentaje M es el porcentaje en peso del retenido en cada tamiz a la muestra total.

Si la PNS, no es igual a M, se corrige el error en la fracción de mayor peso, siendo admisible un error máximo de 1%.

El % pasa acumulativo es el % de la muestra menor que un tamiz determinado y se calcula así:

$$\begin{aligned} a | &= 100 - a \\ b | &= a | - b \\ c | &= b | - c, \text{ etc.} \end{aligned}$$

Para el cálculo del Índice de Grupo Solo se utiliza el % que pasa acumulativo No. 200.

4.6.1.2. Límites de consistencia

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad).

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua. De ahí que se puedan determinar sus estados de consistencia al variar si se conoce las fronteras entre ellas. Los estados de consistencia de una masa de suelo plástico en función del cambio de humedad son sólidos, semisólido, líquido y plástico. Estos cambios se dan cuando la humedad en las masas de suelo varía. Para definir las fronteras en esos estados se han realizado muchas investigaciones, siendo las mas conocidas las de Terzaghi y Atterberg. Se tamiza por malla No. 40 y la materia retenida se descarta.

4.6.1.2.1. Límite líquido

Se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

Para efectuar este ensayo se utiliza material que pasa el Tamiz No. 40, mezclándolo con agua hasta formar una pasta suave.

Se coloca en el platillo del aparato de Casagrande hasta llenarlo aproximadamente 1/3 de su capacidad, formando una masa lisa. Se divide esta pasta en dos partes iguales por medio de un ranurador especial. Se hace girar la manivela del aparato a razón de dos golpes por segundo contando el número de golpes (N), necesarios para que el fondo del surco se cierre en una longitud de 1/2", aproximadamente. Luego se toma la muestra y se determina el contenido de humedad (W). El límite líquido se obtiene aplicando la fórmula:

$$L.L. = \frac{N^{0.121}}{25} \times W$$

4.6.1.2.2. Límite plástico

La frontera convencional entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta un diámetro de aproximadamente de 1/8", en el cual el pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua a que se encuentra se anota como límite plástico.

4.6.1.2.3. Índice plástico

Se denomina así a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Comparando el índice plástico con el que marcan las especificaciones respectivas se puede determinar si el suelo presenta las características adecuadas para el uso de subrasante.

4.6.1.3 Índice de grupo

El Índice de Grupo es un número obtenido en base a una fórmula que toma en cuenta los Límites de Atterberg y la granulometría (proporción de finos).

Debe ser un número entero y positivo, comprendido entre los valores de cero y veinte (0 – 20), si resultara un número fraccionario, se redondea al entero más cercano y si resultara un valor negativo, se adopta el cero y si es mayor a veinte, se toma éste.

Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

Donde:

a	=	(% que pasa No. 200) - 35	(entre 0 y 40)
b	=	(% que pasa No. 200) - 15	(entre 0 y 40)
c	=	LL - 40	(entre 0 y 20)
d	=	IP - 10	(entre 0 y 20)

4.6.2 Ensayos para el control de la construcción

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

Los métodos empleados para la compactación de suelos dependen del tipo de materiales con que se trabaje en cada caso; en los materiales puramente friccionantes como la arena, los métodos vibratorios son los más eficientes, en tanto que en suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso.

En la práctica, estas características se reflejan en el equipo disponible para el trabajo, tales como: plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o patas de cabra.

4.6.2.1. Determinación del contenido de humedad

Ésta refiere a la cantidad de agua que contiene el suelo en estado natural y se obtiene al pesar una muestra de suelo, al obtener este peso se pone en el horno durante 16 a 24 horas y se pesa nuevamente. La diferencia obtenida entre el peso seco y el húmedo será el porcentaje de humedad que contiene el suelo.

4.6.2.2. Densidad máxima y humedad óptima

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno. Históricamente, el primer método, respecto a la técnica que se utiliza actualmente, es el debido R.R. Proctor y que es conocido como Prueba Proctor estándar. El mas empleado, actualmente, es la denominada prueba Proctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que esta más de acuerdo con las sollicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo. También para algunas condiciones se utiliza el que se conoce como Proctor de 15 golpes.

Todos ellos consisten en compactar el suelo, con condiciones variables que se especifican en la Tabla No. 8

En ésta tabla, los métodos 1 y 3 se emplean con suelos que tienen un alto % de partículas bajo la malla #4 = 4.76 mm., un buen criterio es considerar 80% en peso como mínimo. Los métodos 2 y 4 se emplean con suelos que tienen un % importante de partículas mayores a la malla #4 y menores que $\frac{3}{4}$.

Tabla VIII Especificaciones de prueba de laboratorio de proctor

<i>Método de Proctor</i>	N	<i>Tamaño Molde (cm.)</i>	Volume n Molde (cm.)	Pisón (Kg.)	No. Capas	Altura Caída (cm.)	No. de Golpes	Energía de Compactación
ESTÁNDAR	1	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.500
ESTÁNDAR	2	11.64*15.24	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.500
MODIFICADO	3	11.64*10.16	943.33	2.49	5	45.72	25	275.275
MODIFICADO	4	11.64*15.24	2123.03	2.49	5	45.72	55	275.275
15 GOLPES	5	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	36.400

FUENTE: www.monografias.com/trabajos12/suelos/suelos.shtml

La energía específica de compactación se obtiene aplicando la siguiente formula:

$$Ee = \frac{N \times n \times W \times h}{B}$$

Donde:

- Ee = Energía específica
- N = Numero de golpes por capa
- n = Numero de capas de suelo
- W = Peso del pisón
- H = Altura de caída libre del pisón
- V = Volumen del suelo compactado.

Con este procedimiento de compactación, Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua de suelo.

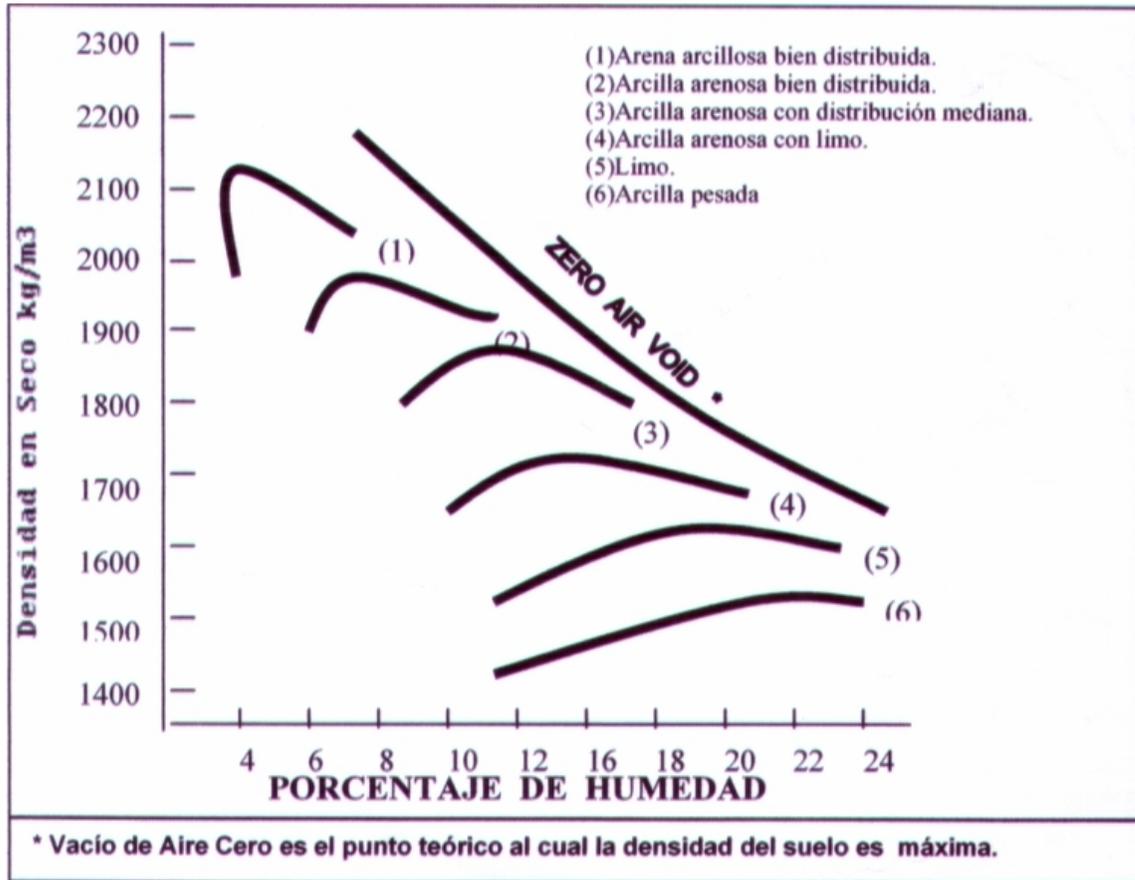
Se observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían mas altos pesos específicos secos y, por lo tanto, mejores compactaciones de suelo, pero que esa tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones en la muestra. Es decir, que existe una humedad inicial denominada humedad optima, que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación y, por consiguiente, la mejor compactación del suelo.

Los resultados de las pruebas de compactación se grafican en curvas que relacionan el peso específico seco versus el contenido de agua, lo que se puede apreciar en la gráfica No. 4 para diferentes suelos.

Para la realización de este ensayo se utiliza un molde cilíndrico de 4" (10 cm) de diámetro y una altura de 4.58" (11.64 cm) con lo cual se tiene un volumen de 1/30 de pie cúbico; se le coloca en la parte superior un collar del mismo diámetro para adicionar altura.

Figura 2

Curva De Control De Varios Suelos



FUENTE: <http://www.eia.edu.co/servicios/laboratorios/labsuelos.htm>

El molde se llena con cinco capas, compactando con 25 golpes de un martinete de 10 libras de peso, con una altura de caída de 18 pulgadas, el cual proporcionará una energía de 56,200 libras-pie/pie³.

Al tener lleno el molde, se quita el collar y se enrasa el cilindro. Para calcular la densidad se pesa el molde con su contenido, obteniendo el peso bruto húmedo (PBH), al cual se le resta la tara del molde para obtener el peso neto húmedo (PNH); dividiendo el PNH entre el volumen de la muestra (1/30 pie³), se obtiene el peso unitario húmedo (PHU).

Secando la muestra al horno se obtiene el peso neto seco (PNS) y de aquí el contenido de humedad:

$$W = \frac{PNH - PNS}{PNS}$$

Luego se puede obtener el peso unitario seco (PUS), por la relación:

$$PUS = \frac{PUH}{1 + W}$$

Este proceso se repite con diferentes porcentajes de humedad, trazando luego una curva que relacione el contenido de humedad (W) con el peso unitario o densidad seca (PUS); el valor más alto de la curva nos dará la Densidad Máxima y el contenido de humedad correspondiente en la curva nos dará la Humedad Óptima.

4.6.3 Ensayos para la determinación de la resistencia del suelo

4.6.3.1. Ensayo del valor soporte del suelo (CBR)

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

El proceso de el ensayo de CBR empieza con la preparación de la muestra, esta debe estar pulverizada para tener una muestra lo mas uniforme, la muestra uniforme debe ser tamizada con una malla No. 4, se toman 800 gramos y se determina el contenido de humedad actual. Se agrega la cantidad de agua necesaria para llegar a la humedad óptima, la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Agua por Agregar} = \frac{\text{PesoMat}(\text{gr}) \times (\text{HumedadOpt} - \text{HumedadAct})}{100 + \text{HumedadActual}}$$

La humedad del material deberá quedar dentro de más o menos 0.5% de la humedad óptima.

Luego se coloca el disco espaciador sobre la placa base. Fijar el molde, con su collar de extensión, sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador. Compactar el suelo húmedo en el molde de acuerdo al Proctor con el fin de obtener la humedad óptima (Wop) y la densidad máxima (dmax). Generalmente se utilizan como mínimo 3 muestras con 65, 25 y 10 golpes.

Después se retirar el collar de extensión y enrasar cuidadosamente, el suelo compactado con la regla al nivel del borde del molde. Se rellena con material de tamaño menor cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por la eliminación de material grueso.

Se saca la placa base perforada y el disco espaciador y pesar el molde con el suelo compactado. Se resta el peso del molde determinando la masa del suelo compactado (M).

Determinamos la densidad de la muestra antes de la inmersión, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde (v).

$$\text{muestra} = M/v$$

Se Coloca un disco de papel filtro grueso sobre la base perforada, invertir el molde y fijarlo a la placa base, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

Después se colocar el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplicar las cargas hasta producir una sobrecarga, con un peso de 10 libras.

Antes de someter la muestra a inmersión, se coloca el molde con las cargas en agua, permitiendo el libre acceso del agua a la parte superior e inferior de la probeta. Se toman mediciones iniciales para la expansión o asentamiento y se deja la probeta en remojo durante 96 hrs. Mantener la muestra sumergida a un nivel de agua constante durante este periodo.

Al término del periodo de inmersión se toman las mediciones finales de la expansión y se calcula como un porcentaje de la altura inicial de la probeta.

$$\% \text{ expansión} = \left(\frac{\text{LecturaInicial} - \text{LecturaFinal}}{\text{AlturaInicialDeLaMuestra}} \right) \times 100$$

Después se saca el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 10 min. Se debe cuidar no alterar la superficie de la probeta mientras se saca el agua superficial.

Se retira las cargas y la placa base perforada, pesar el molde con el suelo. Restar la masa del molde determinando la masa del suelo compactado después de la inmersión (M_i).

Se obtiene la densidad correspondiente, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde (v):

$$i = M_i/V$$

Colocar sobre la probeta, la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por el material de base y el pavimento, aproximadamente 10 libras. Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el periodo de inmersión.

Para evitar el sollevamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas se coloca en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración, y después se colocan las cargas restantes.

Se apoyar el pistón de penetración con la carga mas pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso 45 N (4.5 Kgf). Colocar los calibres de tensión y deformación en cero.

Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga-penetración.

Luego se aplica la carga del pistón de penetración de manera que la velocidad de penetración sea 1.25 (mm/min) en aquellos suelos donde se demuestre a través de ensayos comparativos que el cambio de velocidad no altera los resultados del ensayo.

Se anotan las cargas para las penetraciones mostradas en la tabla No. 9

Se anota la carga y penetración máxima si esta se produce para una penetración máxima si esta se produce para una penetración menor que 12.7 (mm), (0.5 pulgadas).

El valor soporte CBR de un suelo es el que resulte mayor al aplicar la siguiente fórmula a los valores de carga correspondientes a penetraciones de 0.1” y 0.2”, así:

$$CBR = \frac{P}{P_1} \times 100$$

Donde:

P = Carga obtenida en el ensayo

P₁ = Carga unitaria normalizada

Tabla IX Valores de penetración

Penetraciones			Cargas
Velocidades de Penetración			
1.25 (Mm. /min.)	1 (Mm. /min.)	1 (Mm. /min.)	
Mm.	Pul	Mm.	
0.63	0.025.	0.5	P1
1.25	0.03	1	P2
1.9	0.075.	1.5	P3
2.5	0.1	2	P4
3.1	0.125.	2.5	P5
3.75	0.15	3	P6
4.4	0.175.	3.5	P7
5	0.2	4	P8
7.5	0.3	4.5	P9
10	0.4	5	P10
12.5	0.5	7.5	P11
-	-	10	P12
-	-	12	P13

FUENTE: <http://www.eia.edu.co/servicios/laboratorios/labsuelos.htm>

En general, se puede hacer la siguiente clasificación atendiendo al valor soporte CBR.

100% - 80%	Son excelentes materiales para bases
80% - 50%	Son buenos materiales para base.
50% - 30%	Son buenos materiales para sub-bases.
30% - 20%	Son buenos materiales para subrasante.
20% - 10%	Son buenos materiales para subrasnete.
10% - 5%	Son regulares materiales para subrasante.
5% - 0	Son malos materiales para subrasante.

4.7 Diseño del espesor del pavimento

Para el diseño de espesores de pavimento de adoquín, no se cuenta con un método racional específico, por esta razón se utiliza espesores de diseño de otros tipos de pavimentos.

La obtención de fórmulas racionales que ligen el comportamiento del adoquín con la calidad de la subrasante es dificultosa por el mecanismo estructural un tanto complicado de éste, pero llegando a la conclusión de que se trata de un pavimento de tipo flexible, puede adaptarse a su diseño un método similar a los utilizados en el diseño de pavimentos asfálticos.

4.7.1 Adaptación del método de Mills al diseño del espesor del pavimento de Adoquín

Éste método se empezó a utilizar en Guatemala en el año de 1956 por la Dirección General de Caminos, por que fue creado en Brasil, que tiene condiciones climáticas semejantes a las de Guatemala.

Toma como principal factor el CBR auxiliado por el Índice de Grupo, un factor adicional que toma en cuenta el drenaje de la superficie y considera además la densidad y el peso del tráfico.

4.7.1.1 Tránsito

La estimación del tránsito que usará el pavimento debe considerar los conteos actuales y las actividades a que servirá la pista a construir, así como posibles usos futuros, sin embargo, Mills estima más importante el peso máximo de los vehículos que su número; un solo vehículo excesivamente pesado, puede causar más a un pavimento que mil vehículos ligeros. Sin embargo, el número de aplicaciones de carga tiene un efecto y por ello la clasificación del tránsito se considera tanto el número como el peso de los vehículos, como se ve en la siguiente tabla:

Tabla X Clasificación del tráfico

TIPO DE TRÁFICO	TRÁFICO TOTAL DURANTE 24 HORAS			CARGA DE DISEÑO (LBS/RUEDA)
	TOTAL DE VEHÍCULOS	CAMIONES Y AUTOBUSES	CAMIONES PESADOS *	
Pesado	3,000 mínimo	700 mínimo	150 mínimo	14000
Mediano	1,000 – 3,000	250 – 700	50 – 150	12000
Liviano	1,000 máximo	250 máximo	50 máximo	10000

- 18,000 a 24,000 libras por eje.

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

4.7.1.2 Capa de rodadura o superficie

La capa de rodadura está constituida por los adoquines en sí. El espesor del adoquín a usar se elegirá atendiendo al tránsito para el cual se proyecte la pista. Los espesores recomendados se incluyen en la Tabla No. 11:

Tabla XI Espesores mínimos recomendados para capa de rodadura de adoquín

CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO	ESPESOR DEL ADOQUÍN	RECOMENDABLE APLICARLO PARA
Pesado	12 cm	<ul style="list-style-type: none">• Autopista de tráfico intenso.• Calles de tráfico de autobuses y camiones.• Aeropuertos• Patios para maquinaria pesada• Patios para vehículos militares• Patios industriales y para vehículos pesados
Mediano	10 cm	<ul style="list-style-type: none">• Autopistas con tráfico moderado• Calles con tráfico de vehículos usuales y vehículos de carga livianos.• Caminos vecinales con tráfico pesado pero escaso

CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO	ESPESOR DEL ADOQUÍN	RECOMENDABLE APLICARLO PARA
Liviano	8 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Parques para vehículos livianos • Estaciones de servicio y gasolineras • Calles secundarias de colonias y lotificaciones • Calles en pequeñas poblaciones • Accesos a residencias. • Garajes particulares • Parques y áreas de circulación de vehículos en centros comerciales.
Otros	5 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Aceras para peatones • Calles Para bicicletas o motocicletas • Veredas en parques, zoológicos, etc.

Continuación de tabla XI

NOTA: En Guatemala por facilidad de fabricación sólo se produce adoquín de 10 cm.

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

4.7.1.3 Lecho de asiento

El lecho de arena sobre el cual se colocan los adoquines no es objeto de diseño, ya que no tiene una función estructural; su espesor se fija de acuerdo a lo indicado en 4.4.3

4.7.1.4 Capa de base

Generalmente la capa base y la capa de superficie se conservan con un espesor uniforme a lo largo de todo el proyecto, variando solamente el espesor de la sub-base de acuerdo con la calidad del suelo de subrasante. La siguiente tabla de los espesores de base en función del tráfico previsto, y establece ciertos valores límites en las propiedades de los materiales a usar.

Podrá reducirse el espesor de la base en un 25% cuando el material de la subrasante tiene un valor soporte CBR mayor de 40 y un índice de Grupo de 0.

Tabla XII Espesores mínimos recomendados para capa base

CASIFICACIÓN DE TRÁFICO	GRANULOMETRÍA PARA MATERIALES AASHO M-147	ESPESOR MÍNIMO (cm.)	CBR DE 55 GOLPES MÍNIMO (%) AASHO T - 193	LÍMITE LÍQUIDO MÁXIMO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD MÁXIMO
PESADO	Cols. A o B	20	90	25	6
MEDIANO	Cols A, B, C o D	18	75	25	7
LIVIANO	Cols A, B, C, D, E o F	15	60	27	8

FUENTE: Rodolfo Girón: *Diseño de pavimentos de adoquín*

Tabla XII (Continuación) Porcentaje de material que pasa en tamices

No. DE TAMIZ	% EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA (AASHO M -147)					
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D	TIPO E	TIPO F
2"	100	100	---	---	---	---
1"	---	75 – 95	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100	---	---
No. 4	25 - 55	30 – 60	35 – 65	50 -85	55 - 100	70 - 100
No. 10	15 – 40	20 – 45	25 -50	40 – 70	40 - 100	55 - 100
No. 40	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45	20 – 50	30 - 70
No. 200	2 – 8	5 – 20	5 – 15	10 – 25	6 – 20	8 – 25

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

4.7.1.5 Capa de sub-base

El espesor de sub-base es determinado tomando en cuenta el espesor indicado por el CBR y el Índice de Grupo, ya que la experiencia ha demostrado que un método señala propiedades malas del suelo que no indica el otro. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Tsb = \left(\frac{2Tc + Tg}{3} - (S + B + L) \right) \times Fd$$

Donde:

- Tsb = Espesor de Sub-base
- Tc = Espesor total del pavimento indicado por el método del CBR (ver gráfica No. 5), espesor que depende de la sub-rasante.
- Tg = Espesor total de pavimento indicado por el método de Índice de Grupo (ver gráfica No.6), espesor que depende del Índice de Grupo de la subrasante.
- S = Espesor de capa de superficie (determinado según la tabla No. 11).
- B = Espesor de capa de base (determinado según la tabla No. 12)
- L = Espesor de capa de asiento o lecho.
- Fd = Factor de incremento de espesor por mal drenaje (determinado según la tabla No. 14)

Debe cumplirse además que:

$$\frac{2Tc + Tg}{3} \geq Tc$$

En este caso de ser menor se utilizará el valor de Tc.

La fórmula de Mills obtiene un promedio de los espesores según los dos métodos, por medio de la expresión $(2Tc + Tg)/3$, pero le da más peso a Tc debido a que éste es obtenido con la muestra compactada en forma óptima, y sujeta a las peores condiciones de humedad que se podrán dar en la realidad.

En algunos ensayos de subrasante se obtienen valores de CBR menores que 2. En este caso se deberán hacer nuevas determinaciones del CBR, para confirmarlo, ya que este valor corresponde a suelos muy malos. Si se obtiene nuevamente un valor tan bajo, deberán tomarse precauciones para el diseño y construcción, como:

- Construir drenaje adecuado
- Darle al tramo pendientes suficientes.
- Recubrir a manera de aislamiento el suelo malo con material de buena graduación y que contenga alguna arcilla, en espesores de acuerdo esta tabla:

Tabla XIII Relación de resultados de CBR y espesor mínimo de material de recubrimiento

CBR DE LA SUBRASANTE	ESPESOR MÍNIMO DE MATERIAL DE RECUBRIMIENTO
1.5	24" (61 cm)
1	30" (76 cm)
0.5	38" (97 cm)

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

4.7.1.6 Espesor adicional por mal drenaje

El margen de espesor adicional para el drenaje tiene el propósito de dar pavimentos de capacidad de carga uniforme empleando espesores extra de sub-base donde el drenaje natural es malo.

Cuando la pendiente longitudinal de la pista es fuerte, el agua fluye rápidamente, pero al disminuir la pendiente aumenta el peligro de estancamiento de agua. El problema se agudiza en pendientes planas especialmente en secciones de corte en trinchera donde es mayor la posibilidad de sobre-saturación de la subrasante.

El espesor adicional de sub-base aumenta la profundidad de distribución de cargas en estas áreas críticas y disminuye la intensidad de las presiones transmitidas a la sub-rasante.

El factor no se aplica cuando la subrasante está compuesta de material de alta estabilidad y buenas propiedades de permeabilidad, o sea cuando el suelo de la subrasante tiene un CBR igual o mayor que 20 y un Índice de Grupo igual o menor que 3.

En la tabla siguiente, se da el factor para espesor adicional por mal drenaje.

Tabla XIV Espesores mínimos recomendados para sub-base y factor de incremento debido a mal drenaje

SECCIÓN TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)	ESPESOR MÍNIMO (cm)	FACTOR DE INCREMENTO
CORTE	0	20	1.25
RELLENO	0	15	1.2
CORTE	1	10	1.15
RELLENO	1	5	1.1
CORTE	2	0	1.05
RELLENO	2	0	1

Para pendientes longitudinales intermedias se deberá interpolar

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

4.7.1.7 Sustitución de materiales

El objeto de construir los pavimentos en varias capas de materiales de distintas calidades es lograr una estructura que resista las cargas previstas, pero que a su vez tenga el menor costo posible.

Haciendo esta consideración, el método de diseño fija los espesores mínimos de las diferentes capas, pero pueden tenerse casos en que los bancos para material de sub-base se encuentra muy distantes y se hace necesario un acarreo muy largo que sube enormemente su costo, encontrándose, en cambio buen material para base disponible a una corta distancia; puede suceder también que se tengan bancos cercanos para ambos materiales, y que el costo de excavación y transporte del material para base sea menor o igual que el de sub-base.

En estas circunstancias es obvio que resulta conveniente sustituir la capa de sub-base por material de base; puesto que este es un material de mejor calidad será necesario un espesor menor al obtenido en el cálculo.

Para hacer la reducción de los espesores, el Instituto de Asfalto recomienda una relación de 1.35 a 1, es decir que el espesor de sub-base se puede reducir en un 35% al usar material base granular.

4.7.1.8 Otras consideraciones

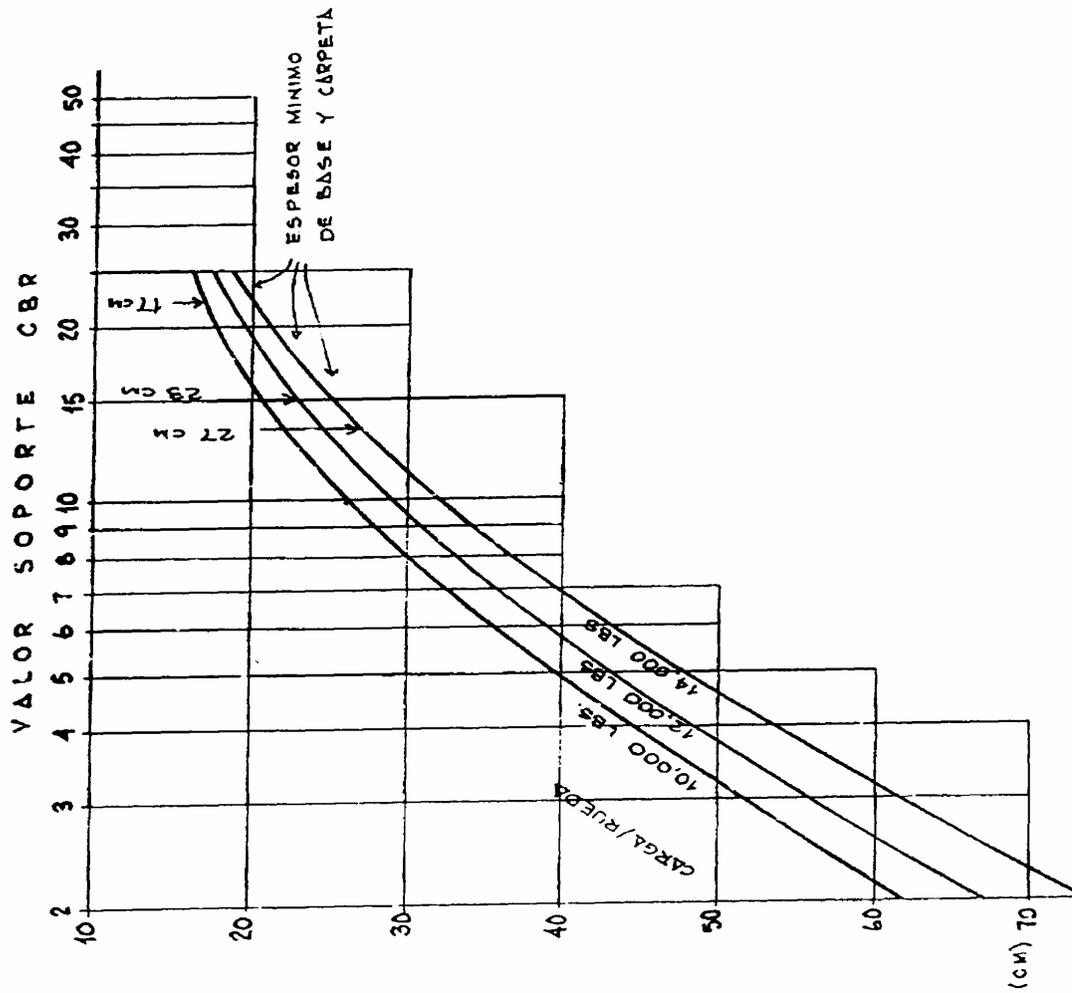
El método de Mills ofrece un procedimiento sencillo para que los Ingenieros de campo puedan aplicar los resultados de las pruebas hechas en laboratorios de campo a sus diseños, pero se deberán efectuar las pruebas y el análisis de resultados con mucho cuidado para evitar resultados erróneos.

En todos los pavimentos, pero especialmente en los de adoquín, es primordial la construcción de buenos drenajes, ya que cualquier acumulación de humedad que penetre a la estructura originará fallas en ella.

Las pendientes longitudinales y transversales deberán ajustarse a las mínimas especificadas, para facilitar un escurrimiento rápido del agua.

El llenado de las juntas es el aspecto más importante en la colocación del adoquín y debe hacerse con los materiales y métodos indicados en las especificaciones para evitar que el agua penetre en ellas o que las deslave. Debe ponerse atención especial a las juntas en los bordillos, cunetas y en el acoplamiento de éstas a las tangentes.

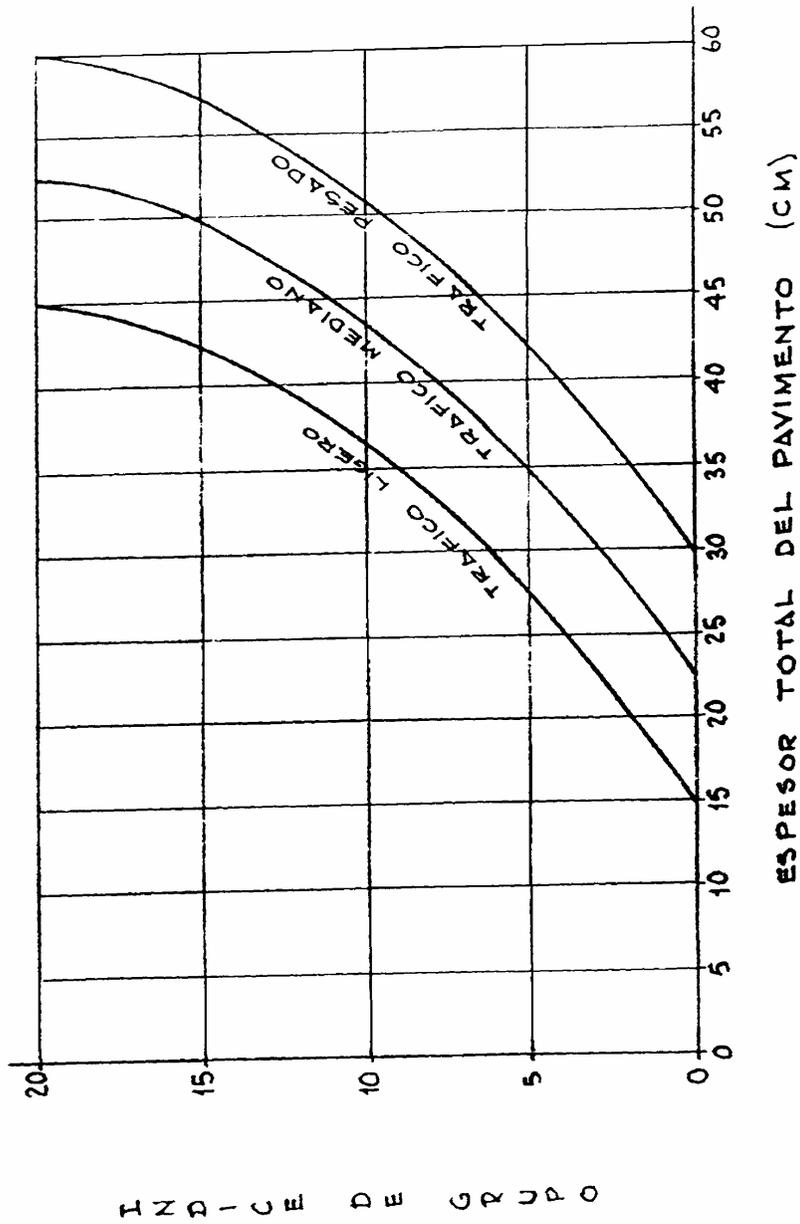
Figura 3 Espesor del Pavimento Según CBR



ESPESOR TOTAL DEL PAVIMENTO

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

Figura 4 Espesor de Pavimento según Índice de Grupo



FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

4.7.2 Presentación de resultados

Se tomó una muestra representativa del suelo, esta muestra fue llevada al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería, donde se efectuaron ensayos para determinar las propiedades necesarias para poder hacer el diseño del espesor del pavimento.

Los ensayos hechos a estas muestras fueron de CBR, Proctor Modificado, granulometría y Límites de Atterberg.

Los resultados de ensayos se incluyen en las gráficas 18, 19, 20 y 21 de los anexos.

4.7.3 Diseño final del pavimento

Para el diseño del espesor del pavimento se utilizó la adaptación del método de Mills.

Las características del suelo de subrasante fueron determinadas por análisis de laboratorio.

- Las pruebas realizadas fueron:
- Identificación con base en examen visual y manual
- Límites de Atterberg según AASHO T-89 y T-90
- Compactación, según AASHO T-180
- Valor soporte de California (CBR) según AASHTO T-193
- Índice de Grupo

Los resultados de las pruebas de acuerdo al informe obtenido en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería fueron:

Valor Soporte CBR (Compactación a 95%) = 12.00

Índice de Grupo:

Datos:

$$\begin{array}{rclcl} a & = & 68.75 - 35 & = & 33.75 \\ b & = & 68.75 - 15 & = & 53.75 & 40 \\ c & = & 37.60 - 40 & = & -2.40 & 0 \\ d & = & 11.90 - 10 & = & 1.90 \end{array}$$

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

$$IG = 0.2 (33.75) + 0.005(33.75) (0) + 0.01 (40) (1.90)$$

$$IG = 6.75 + 0 + 0.76$$

$$IG = 7.51 \quad 8$$

Análisis de tráfico:

- El tipo de tráfico que se utilizara Liviano según la tabla No. 10 la carga de diseño será 10,000 libras.

Capa de rodadura:

- El espesor del adoquín para tráfico liviano, según la tabla No. 11 es de 8 centímetros.

Capa de asentamiento:

- El espesor de la capa de asentamiento se toma aproximadamente de 3 centímetros.
- El material a utilizar será arena de río sin excesiva cantidad de finos

Capa base:

De la tabla No. 12, se obtiene:

- Espesor 15 centímetros.

El material a utilizar:

- Suelo bien granulado
- Valor soporte CBR mínimo de 60
- Límite líquido máximo de 27
- Índice de plasticidad máximo de 8

Capa Sub-Base:

Valores

$T_c = 22$ (observando los valores de curva de la Gráfica No. 5)

$T_g = 33$ (observando los valores de la curva de la Gráfica No. 6 para $IG = 8$)

$S = 8$

$B = 15$

$F_d = 1.00$ de la tabla No. 13

$L = 3$

$$T_{sb} = \left[\frac{2T_c + T_g}{3} - (S + B + L) \right] \times F_d$$

Donde debe cumplirse:

$$\left[\frac{2T_c + T_g}{3} - (S + B + L) \right] \times F_d \geq T_c$$

$$\frac{2 \times 22 + 33}{3} \geq 24$$

$$25.67 \geq 24$$

Entonces

$$Tsb = 25.67 - (8 + 15 + 3)$$

$$Tsb = 25.67 - 26 = -0.33$$

El espesor de la sub-base será de 1 cm.

O sea:

Capa base	15 cm
Capa de Asentamiento	3 cm
Adoquinado	8 cm
Espesor Total	26 cm

4.8 Especificaciones del pavimento de adoquín

4.8.1 Diseño geométrico del pavimento

Un pavimento se define geoméricamente por el trazo de su eje en planta y los perfiles longitudinal y transversal. Estas características se fijan de forma que puedan satisfacer ciertas condiciones impuestas por la naturaleza y la importancia del tráfico previsto.

Esencialmente estas condiciones corresponden a dos casos distintos:

Cuando la circulación es poco intensa, los vehículos circulan sin estorbarse entre ellos. Los problemas a resolver son los correspondientes a los vehículos aislados; el vehículo rápido debe poder circular a van velocidad, el vehículo largo inscribirse en las curvas.

4.8.1.1 Diseño planimétrico

El diseño planimétrico de este proyecto no se utilizaran curvas horizontales; ya que se trata de un diseño con tramos rectos, anchos y con mucha facilidad de transitar.

4.8.1.2 Diseño altimétrico

Debido a que la colonia Robles II , es un lugar ya establecido y poblado por años, no se realizará ningún chequeo que recomienda la American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) como lo son los criterios de: apariencia, comodidad, drenaje y seguridad.

Se diseñará la rasante aproximadamente sobre el terreno natural, para evitar cortes y rellenos exagerados y no dificultar el ingreso a sus propiedades a las personas.

4.8.2 Normas de calidad y métodos de ensayo para la producción del adoquín

Esta es una recopilación de todas las normas para la reproducción del adoquín:

4.8.2.1 Dimensiones y forma

Las caras superior e inferior del adoquín, deben ser planas; la cara expuesta puede tener aristas vivas o biseladas. Ambas superficies deben ser rugosas o ásperas. Los bloques deben estar totalmente libres de grietas.

Su forma en planta debe ser tal que permite engrape entre un adoquín y el otro, al colocar alternados los adoquines de dos filas.

4.8.2.2 Área de fabricación de los adoquines

El área de fabricación de los adoquines deberá ser suficientemente amplia, de acuerdo al volumen de producción y de almacenamiento previsto para la planta.

El lugar de fundición y fraguado inicial no deberá estar expuesto al sol directo y el lugar de mezclado protegido de la caída de basuras, hojas, etc.

4.8.2.3 Materiales y fabricación

Los adoquines se deben fabricar de concreto de mezclas secas en relaciones de 1:4 a 1:5 (cemento a agregados).

Los materiales para la mezcla de concreto deberán ser los siguientes:

A) Cemento

Debe ser de bolsa sellada en buen estado, sin humedecer, almacenadas en lugares ventilados y secos, no deberá guardarse más de un mes.

B) Agregado Grueso

Estará constituido por grava de río, perfectamente lavada o piedrín de piedra triturado.

C) Agregado Fino

Deberá ser arena de río de origen basáltico o cuarzoso, perfectamente lavada y libre de arcilla, tierra vegetal, sales y basuras. No deben contener partículas mayores de 6mm., y no debe pasar el tamiz No. 30 más de $\frac{1}{4}$ parte de la muestra. No debe utilizar arena de mar o estero.

D) Agua

El agua a utilizarse debe estar libre de aceites, grasas residuos de materia orgánica, sales y sulfatos. En general debe utilizarse agua potable para la mezcla. Nunca debe usarse agua de mar estancada.

La fabricación del adoquín deberá llevarse a cabo inmediatamente después de haber hecho la mezcla. Después de fundido el adoquín deberá apilarse bajo techo en pilas no mayores de 15 adoquines, al menos durante los primeros siete días. Se debe curar el adoquín humedeciendo constantemente los apilamientos durante todo el período de fraguado de 15 días del concreto, durante el cual, si no se tiene bajo techo, deberá cubrirse con bolsas de cemento o sacos de brin, manteniéndolos húmedos.

Se pueden usar aditivos para acelerar el endurecimiento del concreto; en este caso se reducirá el periodo de curado. Si se usa concreto normal, no deberá colocarse el adoquín antes de transcurrir 28 días de la fundición.

4.8.2.4 Características de calidad

A) Resistencia a la Compresión

Los valores promedio de la resistencia a la compresión deben ser como mínimo los siguientes:

Tabla XV Valores mínimos a la compresión del adoquín

Espesor del Adoquín (cm)	Resistencia a la Compresión Min.	
	(Kg/cm ²)	(lb/plg ²)
8 ó 10	245	3,500
Mayor de 10	350	5,000

FUENTE: Rodolfo Girón: Diseño de pavimentos de adoquín

Los valores individuales no deben ser más bajos del 15% de los valores mínimos de la tabla.

B) Desgaste por Abrasión

En la prueba de desgaste, los adoquines no deben presentar una pérdida de volumen mayor de 15 cm³/50 cm².

El valor medio de perdida de espesor en algún caso debe ser mayor de 3mm.

C) Dimensiones

La tolerancia para las dimensiones será de un máximo de 3 mm, en más o en menos

4.8.2.5 Ensayos

En Guatemala, el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), ha creado las normas para su fabricación, que se lleva a cabo en varios municipios en forma manual, bajo la supervisión de dicho instituto.

A) Toma de Muestras y Números de las Mismas

Se realiza tomando una muestra de adoquín cada 3,000 unidades; si la muestra es menor de 15,000 unidades, deberá tomarse al menos 5 muestra para la prueba de compresión y 3 para la prueba de desgaste. Las muestras deben ser representativas del lote de donde se toman. La toma de muestras se podrá hacer en el momento de la fundición, en el lote almacenado en planta o en el lote entregado según convenga al fabricante y al comprador.

B) Resistencia a la Compresión

La prueba se efectuará de preferencia en adoquines completos colocados entre placas de presión idénticas. Las probetas deben ensayarse de tal forma que la presión sea perpendicular a la superficie de desgaste del adoquín.

Las caras de presión deben ser paralelas y se deben esmerilar o nivelar con una superficie de mortero de cemento.

La probeta se mantiene en condiciones de curado normal húmedo, pero deben colocarse al aire por lo menos 12 horas antes del ensayo.

C) Desgaste por Abrasión.

Las probetas deben sacarse antes de la prueba hasta alcanzar peso constante y deben pre-esmerilarse.

4.9 Proceso de construcción del pavimento

4.9.1 Descripción y métodos de fabricación de los adoquines

Se realiza la mezcla debidamente los siguientes materiales:

- Agua
- Cemento
- Arena
- Agregado Grueso

Estos materiales deben de tener las características mencionadas anteriormente en 4.8.2.3.

La proporción que se recomienda es la utilizada en el INFOM para sus proyectos de adoquinamiento; esta es de 1:3:2, o sea una mediada de cemento, 3 medidas de arena y 2 medidas de agregado grueso. El agua a añadir varia entre 3 y 5 galones por saco de cemento.

No se deberá utilizar mas de 5 galones de agua por saco a excepción de la mezcla que se utilice para bordillo, la cual podrá tener hasta 7 galones por saco de cemento, con la misma proporción que se utiliza para el adoquín (1:3:2).

Para la fundición de los adoquines, es necesario contar con un buen juego de moldes de metal muy resistente, sobre algunas superficie a la cual no se adhiera el concreto, comúnmente se utilizan tablones de madera; luego se vierte el concreto en ellos, cuidando vibrar poco a poco en el proceso de llenado cada molde hasta completarse; esto se hace para que no se formen bolsas de aire al endurecerse el concreto.

Al curar los adoquines, es muy importante no moverlos de los tabloneros donde se fundieron hasta el día siguiente; al hacerlo, deberán apilarse en columnas de no más de 15 adoquines y cubrirlos del sol directo, manteniéndolos húmedos al ponerles encima cualquier material que los ayude a lograrlo, y deberá mojarse constantemente. El tiempo mínimo de curado deberá ser de por lo menos tres semanas, antes de llevarse para ser colocados.

4.9.2 Construcción del pavimento

4.9.2.1 Nivelación del pavimento adoquinado.

La nivelación de la calle deberá tener dos sentidos, uno a lo largo de la calle, como se explicó anteriormente, y el otro en el ancho de la calle, aquí se hace una pendiente a cada lado del ancho de la calle, partiendo del centro (pendiente de bombeo), que servirá para desalojar el agua pluvial, evitar los estancamientos y con esto las filtraciones de agua a través de los adoquines, hasta la capa de base del pavimento.

En casos donde exista una pendiente muy larga, se recomienda por economía, hacer el bombeo a un solo lado en el ancho de la calle, donde perfectamente se podrá conducir el agua precipitada por medio de alguna cuneta a cajas o fuera de la calle.

La pendiente a lo ancho de la calle deberá hacerse de 2 al 3%; se aconseja la pendiente de 3% cuando se bombea para los dos lados, y de 2% cuando solo sea para uno.

4.9.2.2 Colocación del lecho de asentamiento del adoquín.

La colocación del lecho del asentamiento del adoquín puede ser realizada de dos formas:

- A) Colocando el lecho y el adoquinado en dos operaciones separadas, nivelando con arena a una cota arriba de la calle ± 3 cms., y luego colocar el adoquín uno tras otro sin ningún tipo de herramienta.

- B) Colocando el lecho y el adoquinado en una sola operación, cuando el operario acomoda y nivela la arena del lecho para cada adoquín que va a colocar

4.9.2.3 Relleno de juntas

Los adoquines deben de quedar separados entre cada uno de 6 a 10 mm., al tener terminada la colocación de los mismos, se le barre arena encima del lecho adoquinado, con el fin de ir cerrando poco a poco las sisas entre ellos; al final, para terminar de llenar las juntas se les hecha una mezcla de arena fina con arcilla en relación de 10 cubetas de arena por una de arcilla, mezclándola cuidadosamente y barriéndolas también como en el caso anterior; es necesario pasar una compactadota de rodo liso o estática en su preferencia. Antes de esta compactación se deberá confinar perfectamente el adoquinado, fundiendo directamente bordillos o cunetas para conducción de agua en contacto la ultima hilera de adoquín.

5. PRESUPUESTOS

5.1 Presupuesto de red de drenaje

Tabla XVI Presupuesto de drenaje (pozos y precio total)

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
Renglón:			Colector principal		
MATERIALES DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
Tubería de concreto de Ø 8"	U	2961.00	0.1	Q14.70	Q47,879.37
Tubería de concreto de Ø 10"	U	710.00	0.1	Q21.00	Q16,401.00
Tubería de concreto de Ø 12"	U	30.00	0.1	Q29.40	Q970.20
Tubería de PVC de Ø 6"	U	126.00	0.1	Q583.68	Q80,898.05
Cemento	Saco	2850.00	0.1	Q35.50	Q111,292.50
Arena	m ³	315.58	0.1	Q90.00	Q31,242.58
Ladrillo tayuyo	Millar	61.17	0.1	Q2,075.00	Q139,615.23
Cal hidrtatada	Saco	26.85		Q26.85	Q720.92
MANO DE OBRA DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
Limpieza del terreno	m ²	15074		Q2.00	Q30,148.00
Trazo y estaqueado	ml	4569		Q3.17	Q14,483.73
Excavación	m ³	5228		Q8.40	Q43,915.20
Colocación de tubería de concreto Ø 8"	ml	2961		Q9.29	Q27,507.69
Colocación de tubería de concreto Ø 10"	ml	710		Q11.33	Q8,044.30
Colocación de tubería de concreto Ø 12"	ml	30		Q15.65	Q469.50
Colocación de tubería PVC Ø 6"	ml	755		Q6.65	Q5,020.75
Relleno a mano apisonado y mojado por capas	m ³	4175		Q10.00	Q41,750.00
Retiro de sobrante	m3	1053		Q5.00	Q5,265.00
TOTAL DE MANO DE OBRA					Q176,604.17
M.O. INDIRECTA (%)		50.00%			Q88,302.09
PRESTACIONES (%)		66.84%			Q177,063.34
SUBTOTAL					Q441,969.60
TOTAL DE MATERIALES					Q429,019.85
INDIRECTOS (%)		35.00%			Q304,846.31
FLETES					Q1,900.00
OTROS					
TOTAL				Q1,177,735.75	
TOTAL + IVA				Q1,319,064.04	
	Precio Unitario (ml)			Q295.95	

PRECIO EN DOLARES	
TOTAL	\$169,908.04
PRECIO UNITARIO EN DOLARES*	\$38.12

* Tipo de Cambio : Q7.7634 por Dollar en Diciembre 2004

Tabla XVII Presupuesto de drenaje (pozos y precio total)

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
Renglón:			Cono de Pozo		
MATERIALES	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
DESCRIPCION					
Cemento	Saco	420	0.1	Q35.50	Q16,401.00
Ladrillo tayuyo	Millar	19.9	0.1	Q2,075.00	Q45,421.75
Arena	m3	16.5	0.1	Q90.00	Q1,633.50
Piedrín	m3	3.5	0.1	Q143.00	Q550.55
Hierro Ø 1/2"	Quintal	0.5	0.1	Q232.12	Q127.67
Alambre de amarre	Quintal	0.5	0.1	Q402.50	Q221.38
Cal hidratada	Bolsa	35	0.1	Q26.85	Q1,033.73
Arena blanca	m3	2	0.1	Q74.10	Q163.02
MANO DE OBRA	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
DESCRIPCION					
Levantado de Pared de Cono	m2	186		Q16.00	Q2,976.00
Fundición	m2	709		Q5.00	Q3,545.00
Cernido Liso	m2	371		Q4.00	Q1,484.00
Armadura de 1/2"	m2	55		Q20.00	Q1,100.00
TOTAL DE MANO DE OBRA					Q9,105.00
M.O. INDIRECTA (%)		50.00%			Q4,552.50
PRESTACIONES (%)		66.84%			Q9,128.67
SUBTOTAL					Q22,786.17
TOTAL DE MATERIALES					Q65,552.59
INDIRECTOS (%)		35.00%			Q30,918.57
FLETES					
OTROS					
TOTAL					Q119,257.32
TOTAL + IVA					Q133,568.20
	Precio Unitario (Unidad)				Q1,712.41

PRECIO EN DOLARES	
TOTAL	\$17,204.86
PRECIO UNITARIO EN DOLARES	\$220.58

* Tipo de Cambio : Q7.7634 por Dollar en Diciembre 2004

Tabla XVIII

Presupuesto de drenaje (pozos y precio total)

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
Renglón:			Pozos		
MATERIALES	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
DESCRIPCION					
Cemento	Saco	1216	0.1	Q35.50	Q47,484.80
Ladrillo tayuyo	Millar	98	0.1	Q2,075.00	Q223,685.00
Arena	m3	94	0.1	Q90.00	Q9,306.00
Piedrín	m3	36	0.1	Q143.00	Q5,662.80
Hierro Ø 1/2"	Quintal	12	0.1	Q232.12	Q3,063.98
Hierro Ø 1/4"	Quintal	17	0.1	Q275.67	Q5,155.03
Hierro Ø 3/8"	Quintal	8	0.1	Q246.35	Q2,167.88
Alambre de amarre	Quintal	1.5	0.1	Q402.50	Q664.13
Andamios	Unidad	10	0.1	Q10.00	Q110.00
Cal hidratada	Bolsa	117	0.1	Q26.85	Q3,455.60
Arena blanca	m3	6	0.1	Q74.10	Q489.06
MANO DE OBRA	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
DESCRIPCION					
Andamio para pared	ML	78		Q2.50	Q195.00
Deshacer andamio	ML	78		Q1.50	Q117.00
Levantado de pared de punta rústica	m2	186		Q16.00	Q2,976.00
Fundición	m2	3.5		Q5.00	Q17.50
Cernido liso	m2	186		Q4.00	Q744.00
Eslabón No. 2	Unidad	38		Q0.20	Q7.60
Escalón de Ø 1/2"	Unidad	171		Q0.75	Q128.25
Hierro de Ø 1/2"	Unidad	234		Q0.50	Q117.00
TOTAL DE MANO DE OBRA					Q4,302.35
M.O. INDIRECTA (%)		50.00%			Q2,151.18
PRESTACIONES (%)		66.84%			Q4,313.54
SUBTOTAL					Q10,767.06
TOTAL DE MATERIALES					Q301,244.27
INDIRECTOS (%)		35.00%			Q109,203.97
FLETES					Q11,534.27
OTROS					
TOTAL					Q432,749.57
TOTAL + IVA					Q484,679.52
	Precio Unitario (u)				Q6,213.84

PRECIO EN DOLARES	
TOTAL	\$62,431.35
PRECIO UNITARIO EN DOLARES	\$800.40

PRECIO UNITARIO DE POZO (CONO + POZO)	Q7,926.25
PRECIO UNITARIO EN DOLARES	\$1,020.98

* Tipo de Cambio : Q7.7634 por Dollar Diciembre 2004

5.2 Presupuestos de planta de tratamiento y desfogue

Tabla XIX Presupuesto de planta de tratamiento (global)

PRECIO GLOBAL	
Renglón:	Planta de tratamiento
TOTAL	Q582,255.00
TOTAL (En Dólares)	\$75,000.00

Tabla XX Presupuesto de desfogue

PRECIO GLOBAL	
Renglón:	Desfogue
TOTAL	Q24,078.10
TOTAL (En Dólares)	\$3,101.49

5.3 Presupuesto de adoquinamiento

Tabla XXI Presupuesto de adoquín

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
Renglón:			Adoquinamiento		
MATERIALES	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
DESCRIPCION					
Adoquin	millar	278.00	0.1	Q1,876.00	Q573,684.43
1/2 adoquin longitudinal	millar	13.51	0.1	Q1,258.00	Q18,692.83
1/2 transversal(llavcs)	millar	6.14	0.1	Q1,258.00	Q8,496.74
Cemento	Saco	1410.00	0.1	Q35.50	Q55,060.50
Arena de río	m3	88.00	0.1	Q67.00	Q6,485.60
Piedrin de 1/2"	m3	150.00	0.1	Q150.00	Q24,750.00
Material selecto	m3	261.64	0.1	Q56.00	Q16,117.26
Arena gruesa (base)	m3	2354.79	0.1	Q65.00	Q168,367.77
Arcilla (sellado)	m3	16.24	0.1	Q42.00	Q750.08
Cal hidratada	Saco	15.00	0.1	Q26.85	Q443.03
MANO DE OBRA	Unidad	Cantidad	F. Desp	P.U.	TOTAL
DESCRIPCION					
Colocación de material selecto	m3	261.64378		Q7.50	Q1,962.33
Compactación	m2	13082.189		Q3.65	Q47,749.99
Colocación de material de Base	m3	2354.79402		Q7.50	Q17,660.96
Colocación de cama de asiento	m3	392.46567		Q6.15	Q2,413.66
Colocación de adoquin	u	278002.00		Q0.18	Q50,040.36
Colocación de 1/2 adoquin	u	19650		Q0.10	Q1,965.00
Relleno de juntas	m3	89.2956		Q48.50	Q4,330.84
Construccion de llaves de confinamiento	ml	1261		Q5.85	Q7,376.85
fundicion de remate de concreto	m3	25.936		Q63.50	Q1,646.94
Construccion de bordillo	ml	3242		Q6.60	Q21,397.20
Apisonamiento	m2	13082.189		Q35.00	Q457,876.62
Sellado de juntas	m3	29.7652		Q23.50	Q699.48
TOTAL DE MANO DE OBRA					Q615,120.22
M.O. INDIRECTA (%)		50.00%			Q307,560.11
PRESTACIONES (%)		66.84%			Q616,719.53
SUBTOTAL					Q1,539,399.86
TOTAL DE MATERIALES					Q872,848.24
INDIRECTOS (%)		35.00%			Q844,286.83
FLETES					Q940.00
OTROS					
TOTAL					Q3,257,474.93
TOTAL + IVA					Q3,648,371.92
		Precio Unitario (m²)			Q278.88

PRECIO EN DOLARES	
TOTAL	\$469,945.12
PRECIO UNITARIO EN DOLARES *	\$35.92

* Tipo de Cambio : Q7.7634 por Dollar Dic. 2004

5.4 Resumen de presupuesto

Tabla XXII Resumen de presupuesto

RED DE DRENAJE	Q1,937,311.77
PLANTA DE TRATAMIENTO	Q582,255.00
DESFOGUE	Q24,078.10
ADOQUINAMIENTO	Q3,648,371.92
TOTAL	Q6,192,016.78
TOTAL (En Dólares)	\$797,590.85

6. RIESGO Y VULNERABILIDAD

6.1 Concepto de riesgo

Se refiere a las pérdidas esperadas a causa de una amenaza determinada en un elemento en riesgo, durante un período específico en el futuro. Según la pérdida económica esperada, o según el número de vidas perdidas o la extensión de daño físico a la propiedad.

El término riesgo específico se usa para referirse a riesgos o estimaciones de pérdidas de cualquier tipo, que se expresen como proporción del total. Este término también se utiliza para definir las pérdidas financieras a la propiedad, en cuyo caso se refiere usualmente al coeficiente del costo de reparación o reinstauración de la propiedad al costo de reemplazo.

6.1.1 Evaluación y valoración del riesgo

La tarea global para el manejo del riesgo debe incluir una estimación de la magnitud de un riesgo particular y una evaluación de la importancia que representa el riesgo para nosotros. El proceso de manejo de riesgo tiene dos partes:

- A) Evaluación de riesgo: la cuantificación científica del riesgo proveniente de datos y entendimiento de los procesos implicados
- B) Valoración de riesgo: el juicio social y político de la importancia de diversos riesgos según son enfrentados por individuos y comunidades.

6.1.2 Determinación del riesgo

En la determinación del riesgo existen tres componentes esenciales, cada uno de los cuales debe cuantificarse separadamente:

- A) La probabilidad de acontecer la amenaza: la posibilidad de experimentar una amenaza natural o tecnológica en un lugar.
- B) Los elementos en riesgo: identificación y preparación de un inventario de las personas o edificaciones u otros elementos que podrían verse afectados en caso de ocurrir la amenaza y, donde sea necesario, la estimación de su valor económico.
- C) La vulnerabilidad de los elementos en riesgo: qué daño sufrirán las personas y las construcciones u otros elementos, si experimentan algún nivel de peligro.

6.2 Concepto de vulnerabilidad

La vulnerabilidad a los desastres es una condición producto de las acciones humanas. Indica el grado en que una sociedad está expuesta o protegida del impacto de las amenazas naturales. Esto depende del estado de los asentamientos humanos y su infraestructura, la manera que la administración pública y las políticas manejan la gestión del riesgo, y el nivel de la información y educación de que dispone una sociedad sobre los riesgos existentes y cómo deben enfrentarlos.

La vulnerabilidad es el grado de pérdida causado en un elemento (o serie de elementos) determinado, en riesgo resultante de una amenaza determinada, a un nivel de gravedad determinado.

La vulnerabilidad de un elemento se expresa usualmente como porcentaje de pérdida (o como un valor entre 0 a 1), para un nivel de gravedad de amenaza determinada. La medida de pérdida usada depende del elemento en riesgo y, por consiguiente, puede medirse como coeficiente del número de muertos o heridos al total de la población; como el costo de reparación; o como el grado de daño físico definido según una escala apropiada.

6.3 Factores de vulnerabilidad y riesgo

6.3.1 Amenaza natural

Las amenazas naturales son fenómenos potencialmente peligrosos tales como terremotos, erupciones volcánicas, aludes, marejadas, ciclones tropicales y otras tormentas severas, tornados y vientos fuertes, inundaciones de ríos y zonas costeras, incendios forestales, sequías e infestaciones.

6.3.2 Desastre natural

Éste es el que sucede cuando la ocurrencia de un fenómeno natural afecta a un sistema social vulnerable. Los fenómenos naturales en si no provocan necesariamente desastres. Es solo su interacción con la gente y su entorno lo que genera impacto que puede llegar a tener dimensiones catastróficas, dependiendo de la vulnerabilidad de las poblaciones en la zona.

6.3.3 Reducción de desastres

Es la suma de todas las acciones que pueden aplicarse para reducir la vulnerabilidad de una sociedad a las amenazas naturales.

6.3.4 Prevención

Incluye evitar directamente el impacto adverso de los peligros naturales de los desastres ambientales y tecnológicos relacionados con ellos. Una adecuada planificación constituye un ejemplo de la prevención de los desastres, por ejemplo, la decisión de no construir viviendas en lugares propensos a desastres.

6.3.5 Mitigación

Son las medidas tomadas para limitar el impacto adverso de los peligros naturales y de los desastres ambientales y tecnológicos relacionados con estos.

6.4 Riesgo y vulnerabilidad del proyecto

6.4.1 Riesgo y vulnerabilidad de la red de drenaje

Generalmente los sistemas de alcantarillado corren el riesgo de sufrir impacto en su infraestructura debido a las siguientes amenazas:

- A) Amenazas de tipo sísmico: los sismos y terremotos producen efectos directos en los sistemas de alcantarillado (ruptura y separación de tuberías, derrumbes de pozos de visita, daños estructurales en plantas de tratamiento, etc.).
- B) Inundación por exceso de lluvia: la permanencia de lluvias e inundaciones en una zona producen en los sistemas de alcantarillado la obstrucción de colectores por residuos sólidos, daño en elementos del sistema por recargo de acuíferos, arrastre de tubería debido al empuje de aguas subterráneas, rebosamiento y arrastre de letrinas y pozos sépticos, desbordamiento de lagunas de estabilización.

6.4.1.1 Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación, en este caso, pueden ser: promover un plan de atención de emergencias, realizar capacitaciones de reparaciones de daños y otras temáticas a los sistemas de alcantarillados, capacitar al personal que tendrá a su cargo las operaciones y el mantenimiento de la planta de tratamiento.

6.4.2 Riesgo y vulnerabilidad del pavimento de adoquín

Se recomienda una compactación del material base de buena calidad según las normas, ya que una mala compactación produce asentamientos y deformación de pavimento durante los primeros años de uso.

El pavimento corre el riesgo de destrucción parcial o total, según el tipo de desastre, como los sismos.

La vulnerabilidad ante los riesgos mencionados anteriormente, conduce a darle lugar a distintas enfermedades, y por otro lado a distintos accidentes tanto para los transeúntes como accidentes de tránsito, además del deterioro parcial o completo del pavimento.

6.4.2.1 Medidas de mitigación

Existen dos formas de tomar estas medidas, la primera es por medio de actividades enfocadas a la comunidad en general y la segunda es enfocarla al hogar y realizarlas por cada familia.

Estas medidas deben de ser encargadas a un grupo comunitario para su manejo y funcionamiento, como en el caso anterior.

7. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

7.1 Datos generales:

PROMOTOR DEL PROYECTO: Universidad San Carlos

Nombre del representante legal:

A. Actividad principal: Preinversión

7.2 Ubicación del Proyecto:

B. Nombre del proyecto:

Diseño de red de drenaje de colonias Roble I y Robles II, y adoquinamiento de colonias Roble II

C. Descripción general del proyecto:

El Proyecto consiste en la construcción del alcantarillado sanitario en las colonias antes mencionadas, utilizando tubería de concreto de diámetros diferentes, con una longitud aproximada de 4,569 mts, beneficiando a un total de 1,664 habitantes de población actual y 5,935 de población futura. Además contará con el adoquinamiento de la colonia Robles II con 13,082 metros cuadrados de pavimentación.

D. Vida útil del proyecto:

El proyecto fue diseñado para un período de 22 años, considerando 2 años de gestión y construcción de la obra.

- E. Ubicación del proyecto:
Colonias Robles I y Robles II, San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala.
- F. Área y situación legal del sitio de ubicación del proyecto:
El proyecto está ubicado en estas colonias, cuyos vecinos son propietarios de los terrenos en los que habitan, el colector y la línea de descarga están localizados en calles que son propias de la urbanización.
- G. Superficie estimada del proyecto:
La longitud del colector principal es de aproximadamente 4,569 mts., mientras que la pavimentación es de 13,082 metros cuadrados.
- H. Colindancias del predio y actividades que se desarrollan en las mismas:
Colindan al norte y oeste con la colonia Villa Verde y al sur y al este con la quebrada Raspas
- I. Trabajos necesarios para la preparación del terreno:
Por estar localizado el proyecto en calles propias de la urbanización, prácticamente no se requiere de trabajos previos de preparación del terreno
- J. Vías de acceso:
Carretera asfaltada conocida como la antigua carretera a San Raymundo.

7.3 Descripción del proceso:

- A. Recursos naturales que serán utilizados en las diferentes etapas:
Para el alcantarillado, el recurso a utilizar será el mismo suelo proveniente de las excavaciones que se realicen en las calles.

- B. Sustancias o materiales a ser utilizados en el proceso:
Durante el proceso no se utilizará ninguna sustancia o material; además no se requerirán energéticos; ni suministro de agua.

7.4 Control ambiental:

1. Residuos y contaminantes que serán generados:
Agua residual doméstica.
2. Emisiones a la atmósfera:
Ninguna.
3. Descarga de aguas residuales:
Con el funcionamiento del sistema de drenaje sanitario se generará, inicialmente, un caudal de 1.87 lts/seg de aguas negras provenientes de desechos domésticos.
3. Desechos sólidos:
No serán generados.
4. Ruidos:
No serán generados.
5. Contaminación visual:
La mayor contaminación visual será producida en el período de construcción del alcantarillado y el adoquinamiento.

7.5 Plan de mitigación:

En una primera etapa será construido el sistema de drenaje sanitario cuya carga será vertida a la quebrada Las Raspas.

El desfogue de la red de drenaje causará dos problemas: problemas de erosión y problemas de contaminación.

Para evitar el problema de erosión, se tiene planeado hacer en su desfogue, un dissipador de energía.

Para el problema de carga de contaminación, se tiene contemplado la construcción de una planta de tratamiento de aguas negras, previo a la descarga.

CONCLUSIONES

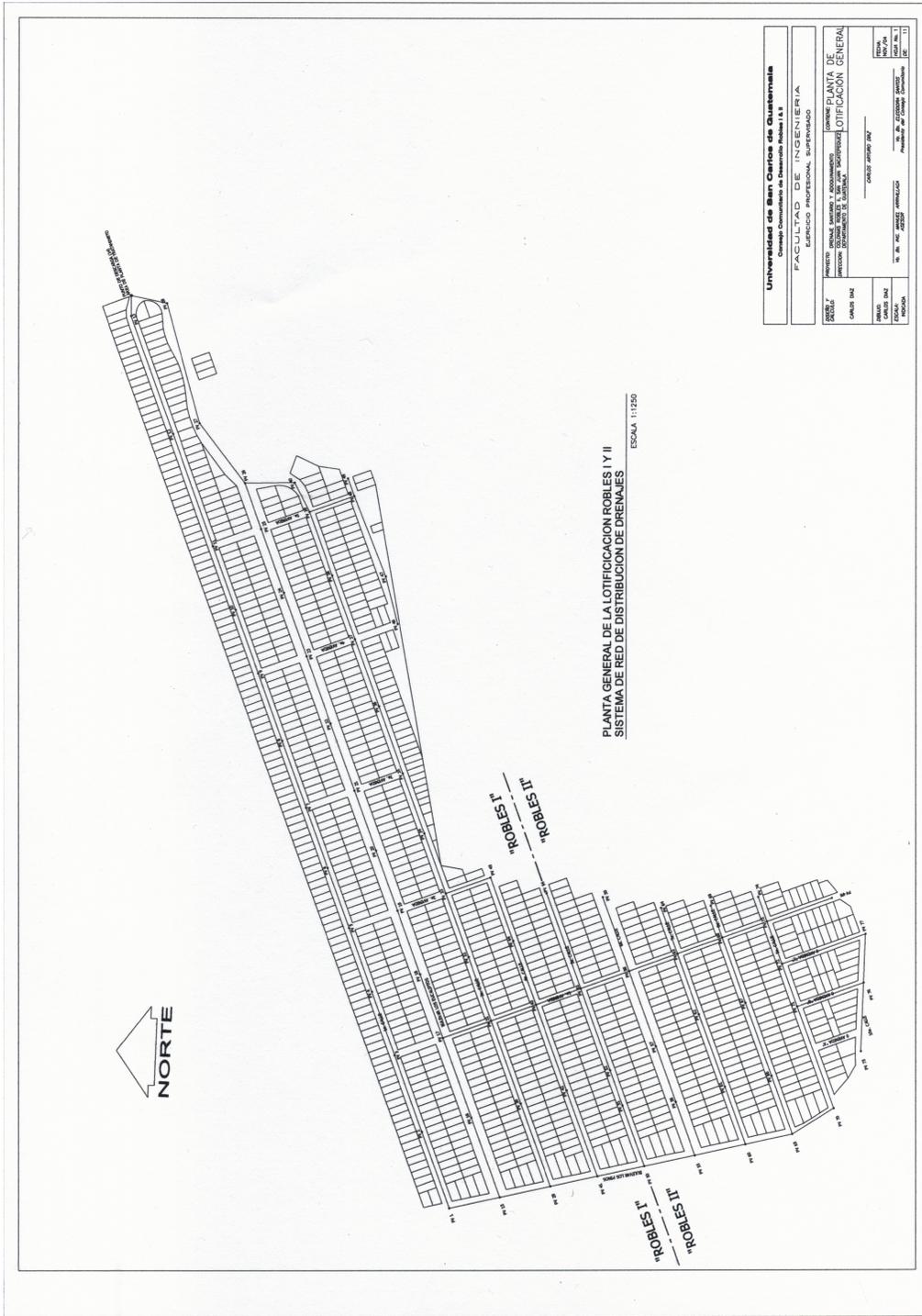
1. Con la construcción del drenaje sanitario, la población de las Colonias Robles I y II, tendrá menos riesgo de contraer enfermedades.
2. La construcción del pavimento de adoquín, dará a los vecinos un mejor acceso a estas colonias.
3. En las secciones 75 – 76; 74 – 73; 78 – 73; 70 – 65; 65 – 66; 69 – 68; 65 – 60; 60 – 61; 64 – 63; 60 – 55; 55 – 56; 59 – 58; 55 – 50; 54 – 53; 50 – 41; 41 – 29; 46 – 47; 49 – 48; 1 – 15; y 29 – 15 del diseño de la red de drenaje, se optó por diseñar con tubería de PVC de 6” de diámetro, debido a que con ella se podía utilizar una pendiente menor a la que se utilizaría con tubería de concreto de 8” de diámetro, y con ella la cota invert de entrada al pozo de seguimiento no sería tan profunda y poder así diseñar pozos de visita más económicos.
4. Por medio del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), el estudiante de ingeniería civil brinda asistencia técnica y profesional a las comunidades de escasos recursos, que cuentan con diversos problemas de infraestructura.

RECOMENDACIONES

- 1.** Capacitar a los habitantes de las Colonias Robles I y II, para que hagan buen uso del alcantarillado sanitario.
- 2.** Utilizar los servicios de un ingeniero sanitario, para un diseño detallado de la planta de tratamiento.
- 3.** Que los vecinos de las Colonias Robles I y II, contraten a un ingeniero supervisor que los instruya para la instalación, tanto de la red de drenaje sanitario, como la del pavimento de adoquín.
- 4.** Que el comité de vecinos dé mantenimiento periódico a la red de drenaje sanitario, para que no se causen obstrucciones de tubería.
- 5.** Que el comité de vecinos dé cursos de capacitación a los vecinos, para que ellos también cuiden su comunidad.

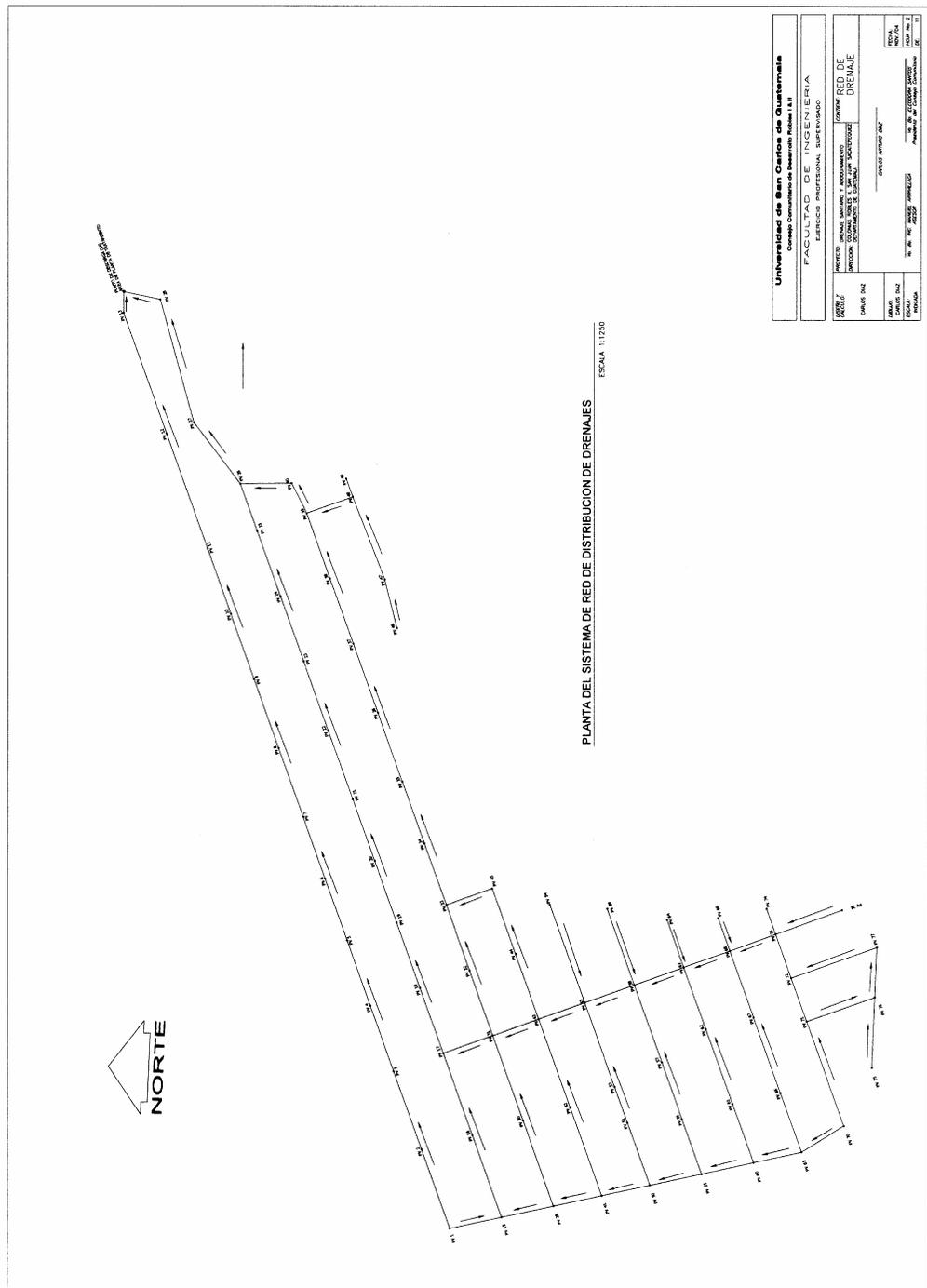
ANEXOS

Figura 5 Planta general de lotificación



Universidad de San Carlos de Guatemala <small>Consejo Universitario de Guatemala Proceso 1-13</small>	
FACULTAD DE INGENIERIA <small>CARRERA PROFESIONAL: DISEÑO</small>	
<small>PROFESOR: ARQUITECTO Y ACADÉMICO</small> <small>DISEÑO Y DISTRIBUCION DE DRENAJES</small>	<small>OPERA: PLANTA DE</small> <small>LOTIFICACION GENERAL</small>
<small>GRUPO DE</small> <small>TRABAJO</small>	<small>OPERA: JUAN JOSE</small> <small>OPERA</small>
<small>FECHA:</small> <small>15/07/2011</small>	<small>PROFESOR: JUAN JOSE</small> <small>OPERA</small>

Figura 6 Red de drenaje



Universidad de San Carlos de Guatemala Consejo Universitario de Desarrollo Urbano I. S. I.	
FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA	
SERVICIO: PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA RED DE DRENAJE	CARRERA: INGENIERIA EN OBRAS DE CONCRETO Y ACEROS
CAMPUS: UN	CARRERAS: AV. 20-20
GRUPO: 204	N.º DE ALUMNO: 10000000000000000000
FECHA: 2015	TITULO: PROYECTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA RED DE DRENAJE
INICIAL:	PÁGINA: 11

Figura 7 Planta-perfil de drenaje sanitario

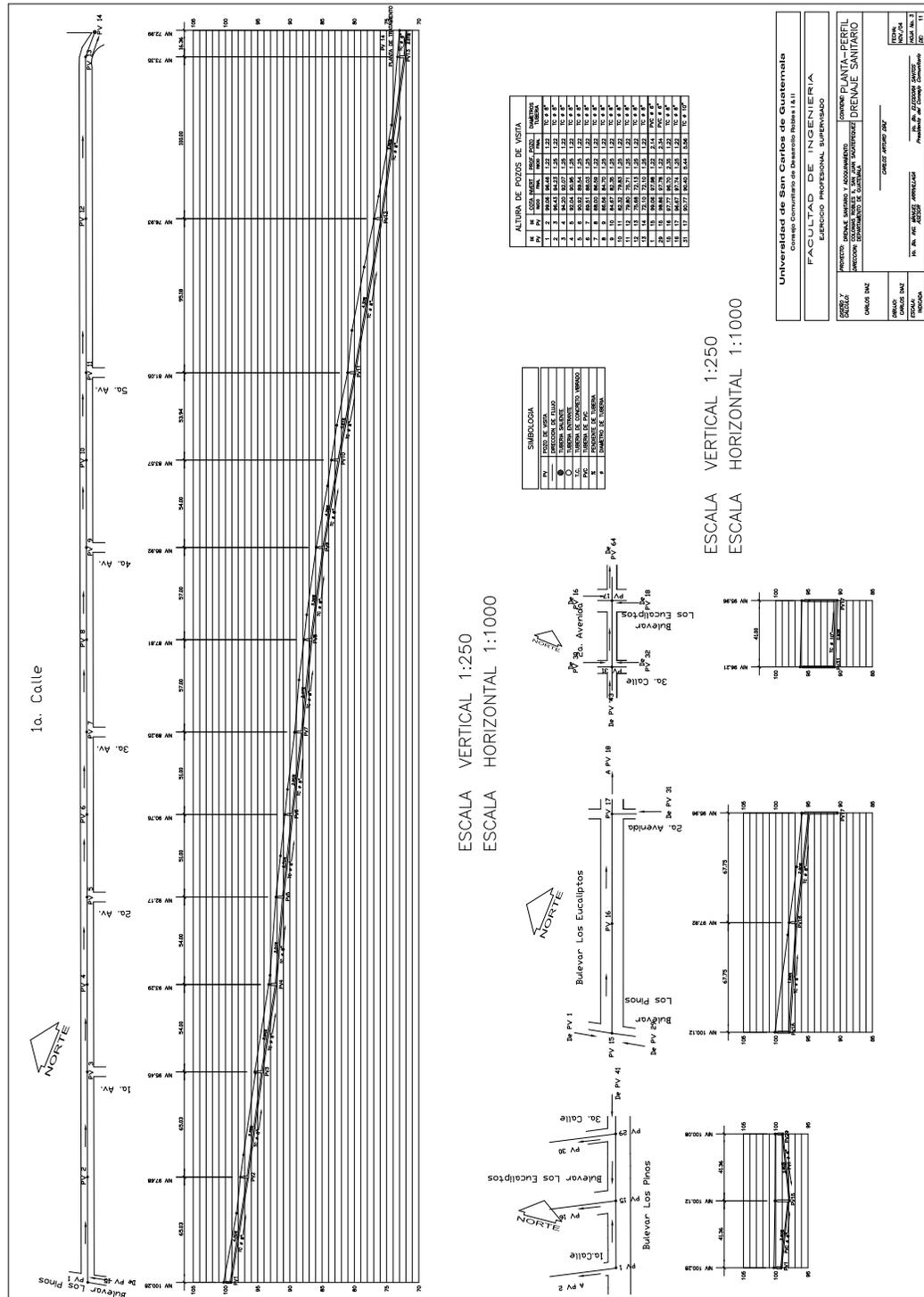


Figura 10 Planta-perfil de drenaje sanitario

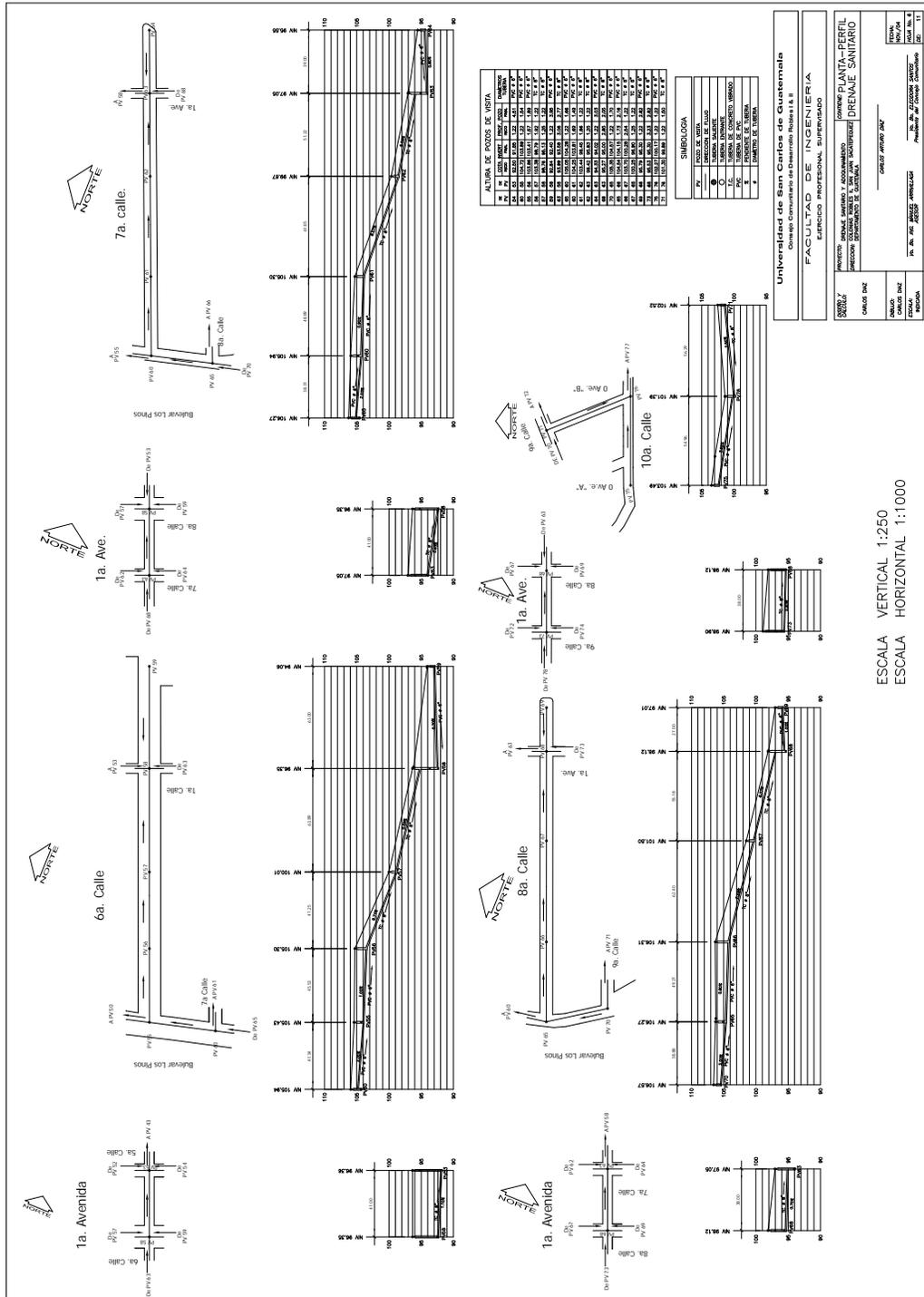


Figura 13 Planta-perfil de adoquinamiento

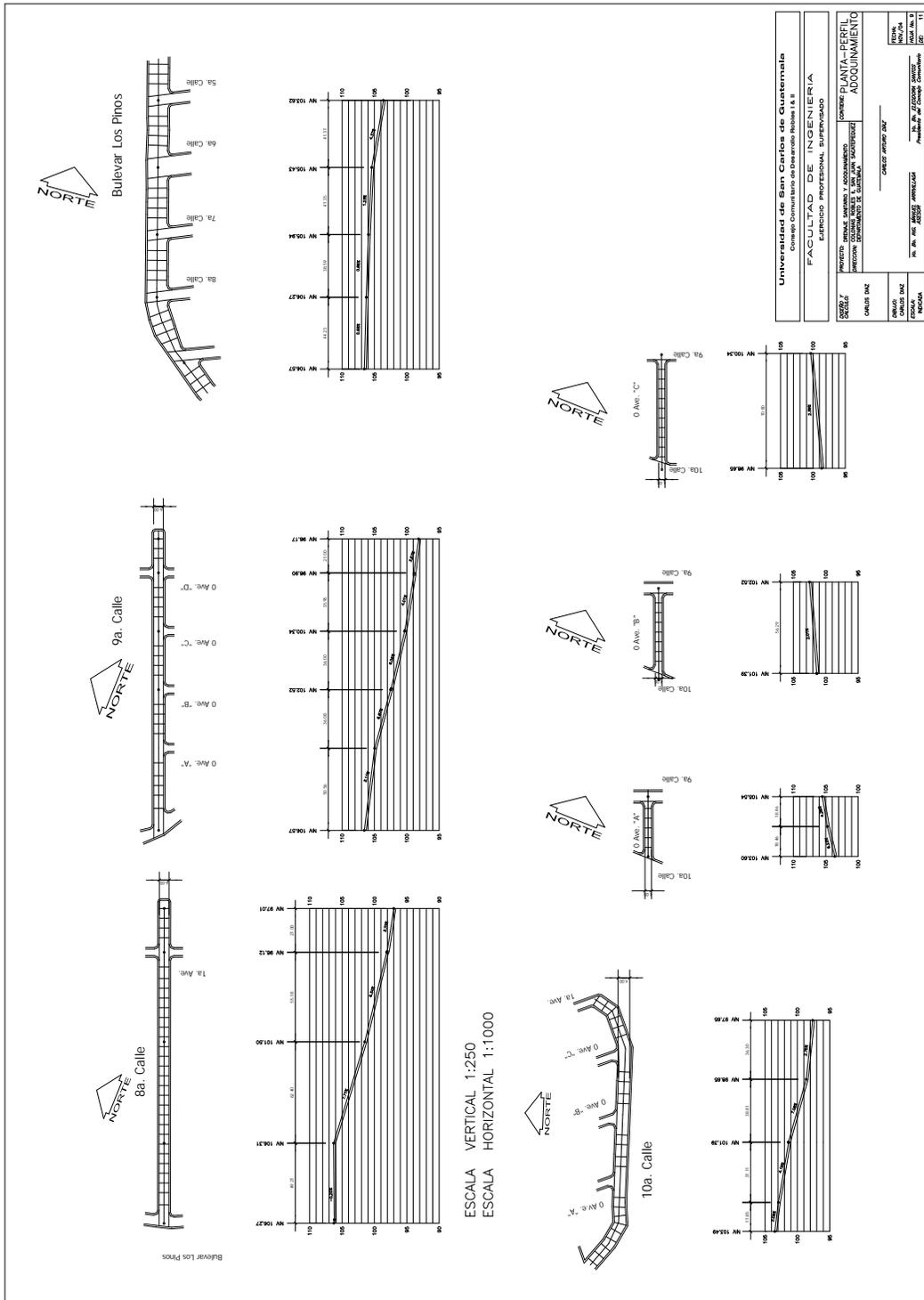
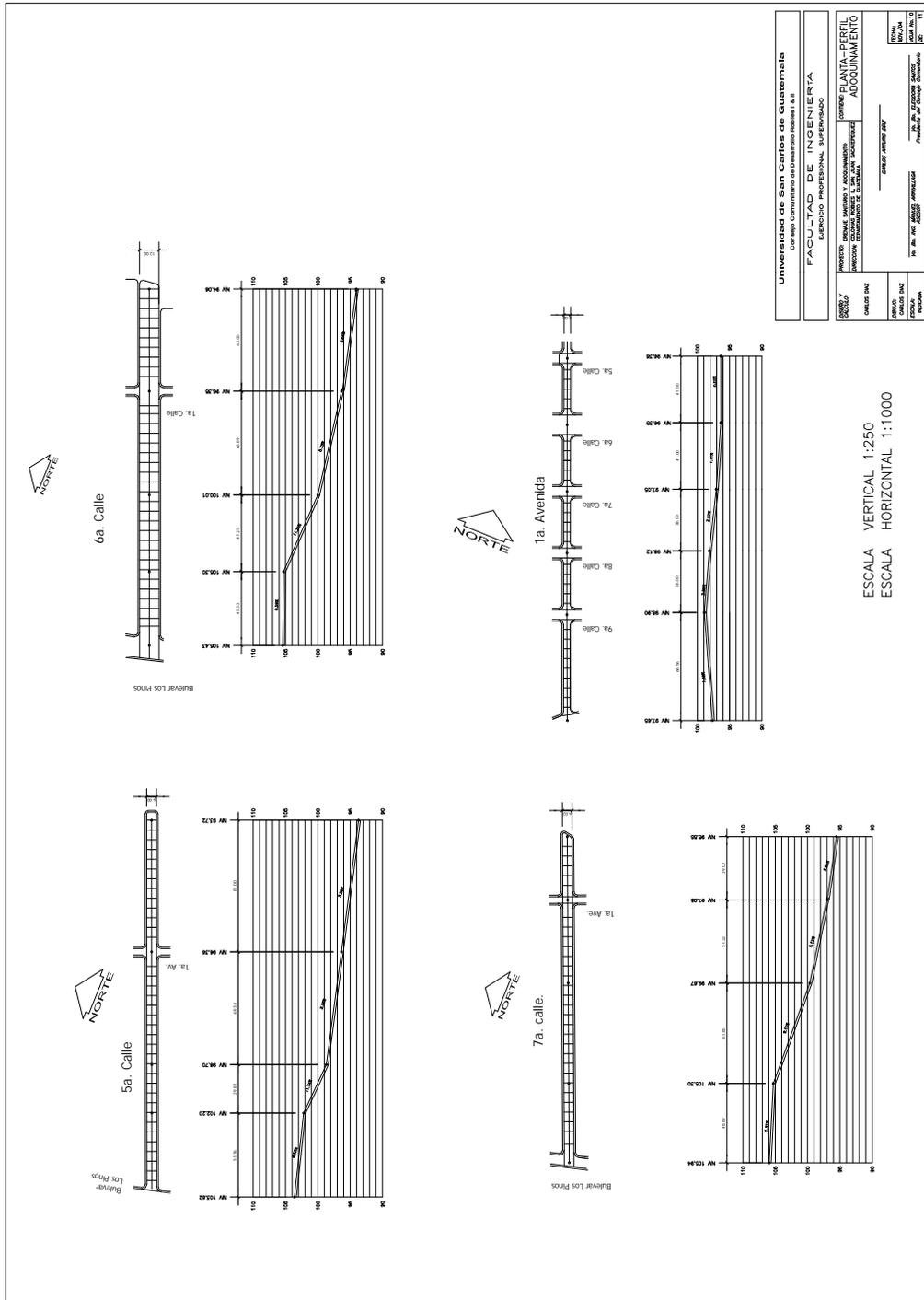


Figura 14 Planta-perfil de adoquinamiento



Universidad de San Carlos de Guatemala Grupo de Ingeniería de Caminos y Obras Públicas	
FACULTAD DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE CARRETERAS	
PROYECTO: OBRAS DE RECONSTRUCCION Y RECONEXION DEL TRAMO DE LA AVENIDA 1A ENTRE LAS CALLES 5A Y 7A.	TITULO: PLANTA-PERFIL DE ADOQUINAMIENTO
SECCION: 1	CALZADA: 12M
DISEÑADO POR: JUAN CARLOS MORALES	CALZADA: 12M
REVISADO POR: JUAN CARLOS MORALES	CALZADA: 12M
APROBADO POR: JUAN CARLOS MORALES	CALZADA: 12M
FECHA: 2018	CALZADA: 12M

ESCALA VERTICAL 1:250
 ESCALA HORIZONTAL 1:1000

Figura 16 Propuesta de planta de tratamiento

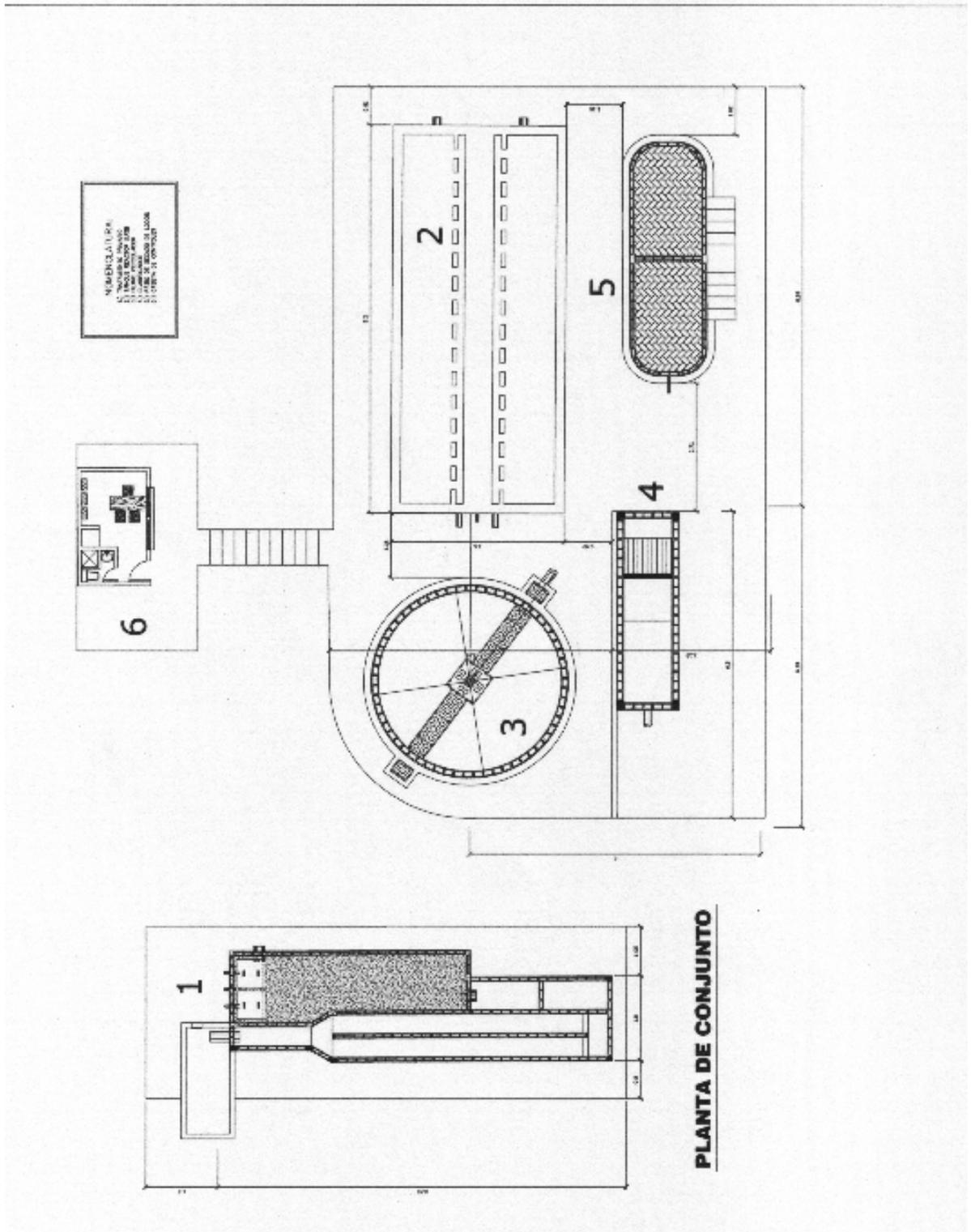


Figura 17 Perfil de planta de tratamiento

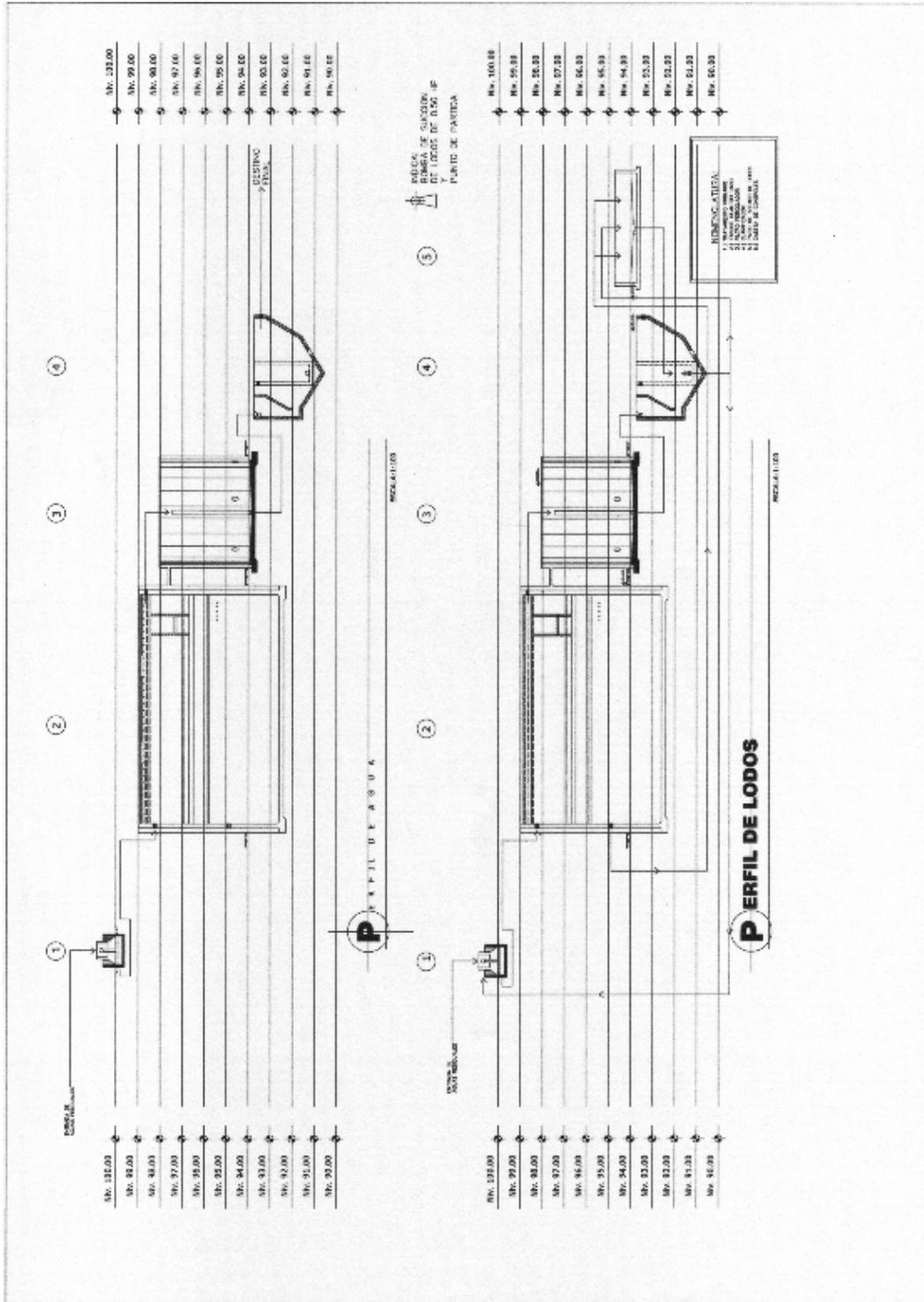


Figura 18 Resultado de límites de Atterberg



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



INFORME No. 204 S.S.

O.T. No. 17943

Interesado: Carlos Arturo Díaz Bolaños (99-19605)
 Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado (Pavimento semi-rígido)
 Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: San Juan Sacatepéquez, Guatemala
 FECHA: 17 de septiembre de 2004

RESULTADOS:

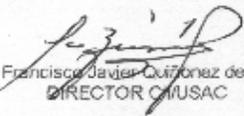
ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	37.6	11.9	ML	Limo arcilloso color café

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

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

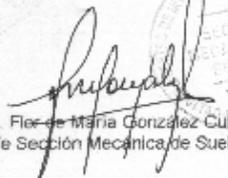
Atentamente,

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR C/USAC





Inga Flor de María González Culejaj
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 476-3992, Planta 443-9500 Ext. 1502, FAX: 476-3993
 Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Figura 19 Análisis de granulometría

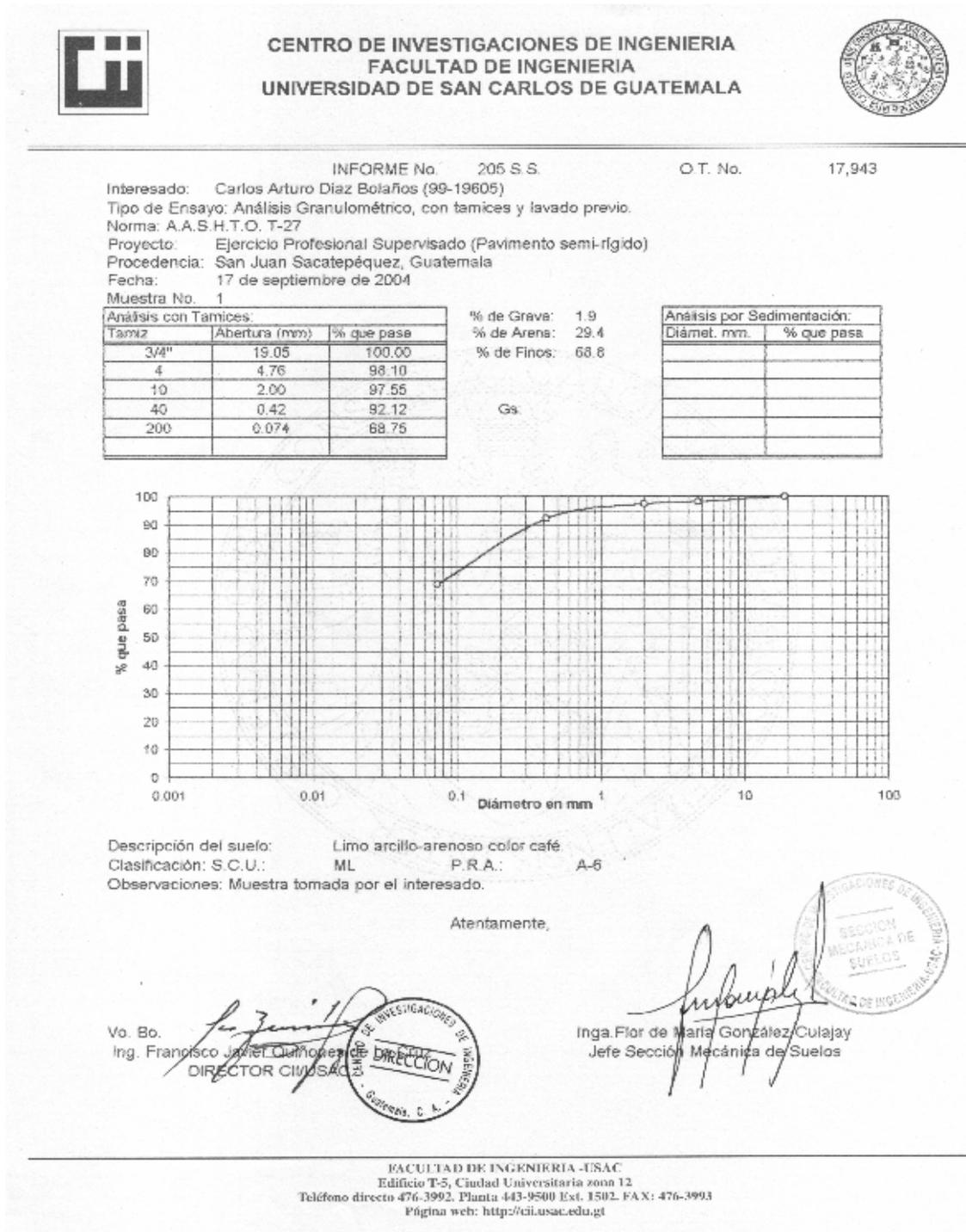


Figura 21 Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)

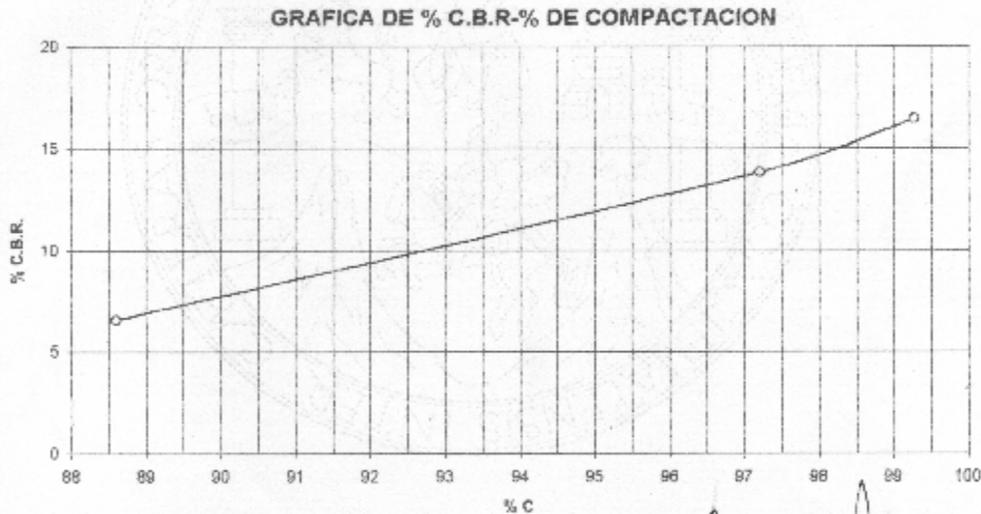


**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No.: 207 S.S. O.T. No.: 17943
 Interesado: Carlos Arturo Díaz Bolaños (99-19805)
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193
 Proyecto: Ejercicio Profesional Supervisado (Pavimento semi-rígido)
 Ubicación: San Juan Sacatepéquez, Guatemala.
 Descripción del suelo: Limo arcillo-arenoso color café.
 Muestra No.: 1
 Fecha: 17 de septiembre de 2004

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_{c-1} kg/m ³			
1	10	25.1	1351.3	88.60	1.3	6.5
2	30	25.1	1482.8	97.21	0.9	13.8
3	65	25.1	1514.1	99.27	0.4	16.5



Atentamente,

Vo. Bo.:

[Signature]
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC



[Signature]
 Inga. María González Culajay
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



BIBLIOGRAFÍA

1. Figueroa López, Rodolfo Vinicio. Tesis **Proyecto de Mejoramiento del Camino que une las Aldeas Sacoj y Lo De Bran II, Utilizando el Adoquín como Elemento de Pavimentación**. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Febrero 1988, PG, 15
2. Quijada Sagastume, José Gilberto. Trabajo de graduación **Diseño de la Red de Alcantarillado Sanitario de las Aldeas El Ingeniero y Petapilla del Municipio de Chiquimula, Departamento de Chiquimula**. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, Mayo 2004, PG 20
3. Cacacho García, Eduardo. Tesis **Rendimientos de Mano de Obra y Equipo Para Programar y Presupuestar Trabajos de Urbanización**. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Abril 1978, PG 35
4. Ramos Soberanis, Lorenzo Joel. Trabajo de graduación **Diseño de Adoquín y Línea de Conducción de Agua Potable para el Cantón La Claridad, San Vicente Pacaya**. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Octubre 2003, PG 1
5. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones** Cuarta Edición, Editorial Limusa, México, 1998, PG 15
6. Uribio Ortiz, Manuel Gerardo. Trabajo de Graduación **Diseño de Drenaje Sanitario para el Caserío de la Finca San Julián, Municipio de Patulul, Departamento de Suchitepéquez**. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Junio 2004, PG 30

7. Hernández Corado, César Arnoldo. Tesis **Contribución al Estudio de Pavimentos con Adoquín**. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1988, PG 12

8. Sallovitz, Manuel. **Tratado de Ingeniería Sanitaria**. Cuarta Edición, Editorial El Atoreo, 1944, PG 50

9. Sánchez Montoya, Juan Pablo. Tesis **Guía Práctica para Costear y Presupuestar la Construcción de Edificaciones**. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Agosto 1998, PG 20