



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

**REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y
DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS
INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26
FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**

Dulce Estephanía España Paz

Asesorado por el Inga. Christa del Rosario Classon Rehwoldt de Pinto

Guatemala, febrero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y
DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS
INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26
FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DULCE ESTEPHANÍA ESPAÑA PAZ

ASESORADO POR LA INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON DE PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|---|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente |
| VOCAL V | Br. Fernando José Paz González |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| EXAMINADOR | Ing. Óscar Argueta Hernández |
| EXAMINADOR | Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa |
| EXAMINADORA | Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y
DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS
INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26
FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 22 de julio de 2 020.

Dulce Estephanía España Paz

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 18 de noviembre de 2021
REF.EPS.DOC.463.11.2021

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:

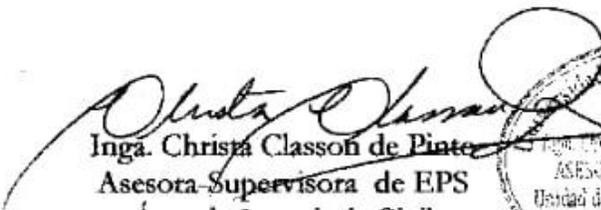
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Dulce Estephanía España Paz, CUI 3003 89655 0101 y Registro Académico 201612121** de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Christa Classon de Pinter
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 24 de noviembre de 2021
REF.EPS.D.265.11.2021

Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Fuentes Roca:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Dulce Estephanía España Paz, CUI 3003 89655 0101 y Registro Académico 201612121**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Inga. Christa Classon de Pinto.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación por parte de la Asesora-Supervisora, como Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

OAH/ra



Guatemala, 24 de noviembre 2021

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Directo de La Escuela de Ingeniería Civil
Guatemala

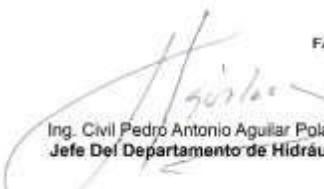
Ingeniero Fuentes.

Por medio de la presente comunico a usted, que a través del Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil ha revisado el informe Final de EPS, **REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**, de la estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil **Dulce Estephanía España Paz**, Registro Académico, **201612121**, como Asesor a la **Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto**.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte académico para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C
Ing. Civil Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe Del Departamento de Hidráulica

Cc: Estudiante xxxxxxxx
Archivo

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Coordinador del Departamento de Hidráulica

Asesor
Interesado





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 24 de noviembre 2021

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Coordinador del Departamento de Hidráulica
Guatemala

Ingeniero Aguilar.

Le informo que he revisado el trabajo Final de EPS, **REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**, de la estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil **Dulce Estephanía España Paz**, Registro Académico, **201612121**, como Asesor a la **Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto**.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte académico para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C

Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor del Departamento de Hidráulica

Asesor
Interesado





LNG.DIRECTOR.038.EIC.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**, presentado por: **Dulce Estephanía España Paz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, febrero de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.098.2022

La Decana 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: **REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA**, presentado por: **Dulce Estephanía España Paz**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, febrero de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la guía y soporte en los momentos más cruciales de mi vida, por darme la valentía de enfrentar situaciones adversas y enseñarme cada día que puedo superarme y ser mejor.

Mis padres

Miriam Paz y Manuel España, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por impulsarme a alcanzar mis metas y sobre todo brindarme siempre su apoyo y amor incondicional.

Mis hermanos

Claudia María, Nelia Alejandra, José Roberto, Jorge Eduardo y Juan Pablo España, por su cariño y ejemplo de lucha en vida y profesión.

Dennis Argueta

Por ser un pilar importante en mi vida, por todo su apoyo y amor incondicional, además del ejemplo de superación, constancia y fuente de inspiración para lograr muchas cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|------------------------------|---|
| Dios | Dueño de la inteligencia y sabiduría, gracias por permitirme llegar a este punto y culminar una meta más. |
| Mis padres | Por todo el esfuerzo, amor y entrega hacia a mí durante su vida. |
| Dennis Argueta | Por ser mi compañía, por ayudarme a encontrar momentos de alegría en mis enojos o tristezas, y hacer mi vida más feliz. |
| Alejandro Orozco | Por ser como un hermano para mí y darme siempre consejos sabios y un apoyo incondicional. |
| Ing. Eduardo Camus | Por la dedicación y el tiempo invertido en cada explicación que aportó a mi aprendizaje y al contenido de esta tesis. |
| Ing. Jorge Juárez | Por compartirme sus conocimientos y tener la disposición en todo momento. |
| Inga. Christa Classon | Por su asesoría, comprensión y apoyo en el presente trabajo de graduación. |

**Escuela Regional de
Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos**

Por darme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), en sus instalaciones.

Facultad de Ingeniería

Por permitirme forjar mis conocimientos en sus aulas y hacerme profesional.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Prestigiosa casa de estudios, con respeto y orgullo, por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional y crecer como persona durante estos últimos años.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. MONOGRAFÍA DE PLANTA PILOTO ZONA 13 | 1 |
| 1.1. Ubicación y accesos..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes e historia de la Planta Piloto en zona 13..... | 5 |
| 1.3. Información general..... | 7 |
| 1.3.1. Hidrografía y orografía..... | 7 |
| 1.3.2. Temperatura promedio anual..... | 7 |
| 1.3.3. Precipitación | 7 |
| 1.3.4. Inundaciones | 8 |
| 1.3.5. Población..... | 8 |
| 1.3.6. Zona sísmica | 9 |
| 1.3.6.1. Zonificación sísmica | 10 |
| 1.3.6.2. Niveles de intensidad sísmica..... | 10 |
| 1.3.7. Geología..... | 12 |
| 1.3.8. Cobertura vegetal y uso de la tierra..... | 12 |
| 1.3.9. Capacidad de uso de la tierra..... | 13 |
| 1.3.10. Intensidad de uso de la tierra..... | 13 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2. | MARCO TEÓRICO | 15 |
| 2.1. | Conceptos generales | 15 |
| 2.1.1. | Topografía | 15 |
| 2.1.1.1. | Preliminar de campo | 16 |
| 2.1.1.2. | Levantamiento topográfico preliminar .. | 16 |
| 2.1.1.2.1. | Planimetría | 16 |
| 2.1.1.2.2. | Altimetría | 17 |
| 2.1.2. | Geotecnia | 18 |
| 2.1.2.1. | Clasificación del suelo | 20 |
| 2.1.2.2. | Ensayos para controlar la construcción de pavimentos | 22 |
| 2.1.2.3. | Movimiento de tierras | 23 |
| 2.2. | Conceptos específicos | 24 |
| 2.2.1. | Pavimento | 25 |
| 2.2.1.1. | Pavimento rígido | 26 |
| 2.2.1.2. | Estructura de un pavimento rígido..... | 27 |
| 2.2.1.3. | Consideraciones para el diseño | 29 |
| 2.2.1.3.1. | Elementos geométricos del alineamiento transversal..... | 29 |
| 2.2.1.3.2. | Alineamiento horizontal y vertical | 31 |
| 2.2.1.3.3. | Drenaje transversal | 38 |
| 2.2.1.4. | Factores de diseño | 40 |
| 2.2.2. | Estacionamiento..... | 44 |
| 2.2.2.1. | Componentes | 44 |
| 2.2.3. | Laguna de estabilización | 46 |
| 2.2.3.1. | Mantenimiento..... | 47 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 2.2.4. | Humedal | 48 |
| 2.2.4.1. | Mantenimiento | 49 |
| 3. | DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS | 51 |
| 3.1. | Unidades | 52 |
| 3.1.1. | Ingreso a la planta piloto..... | 52 |
| 3.1.2. | Camino de ingreso de la planta piloto..... | 57 |
| 3.1.3. | Drenaje pluvial | 62 |
| 3.1.4. | Lagunas de estabilización facultativas..... | 66 |
| 3.1.5. | Humedal | 70 |
| 3.1.6. | Área de parqueo | 71 |
| 3.2. | Otros..... | 73 |
| 4. | DESARROLLO DE PROYECTOS | 75 |
| 4.1. | Topografías, estudio de suelos y propuestas | 75 |
| 4.2. | Pavimento del acceso a la planta Ing. Arturo Pazos Sosa | 78 |
| 4.2.1. | Variables de diseño | 79 |
| 4.2.2. | Diseño de las juntas | 92 |
| 4.2.3. | Diseño de cuneta..... | 93 |
| 4.2.4. | Diseño geométrico..... | 95 |
| 4.3. | Área de estacionamiento para las instalaciones de la planta .. | 99 |
| 4.4. | Área de ingreso y salida de la planta..... | 99 |
| 4.4.1. | Cálculo de columna | 100 |
| 4.4.2. | Cálculo de zapata | 104 |
| 4.5. | Diseño de recubrimiento de lagunas de estabilización facultativas..... | 110 |
| 4.5.1. | Cálculo de muro de contención | 111 |
| 4.6. | Cambio de material filtrante de humedal de tul | 115 |
| 4.7. | Presupuesto | 116 |

CONCLUSIONES..... 119
RECOMENDACIONES 121
BIBLIOGRAFÍA..... 123
APÉNDICE 129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Ubicación de zona 13..... | 2 |
| 2. | Accesos a zona 13..... | 4 |
| 3. | Zonas sísmicas de Guatemala..... | 11 |
| 4. | Pavimento rígido convencional | 29 |
| 5. | Sección típica de una carretera..... | 30 |
| 6. | Elementos de la curva horizontal | 33 |
| 7. | Curva vertical cóncava | 36 |
| 8. | Curva vertical convexa | 36 |
| 9. | Cunetas..... | 39 |
| 10. | Componentes de un estacionamiento | 45 |
| 11. | Diagrama de laguna facultativa | 47 |
| 12. | Humedal artificial de flujo superficial | 49 |
| 13. | Entrada a la planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa | 53 |
| 14. | Vista del camino de acceso a la planta desde la entrada..... | 54 |
| 15. | Vista al portón de entrada desde dentro | 55 |
| 16. | Estado del portón de entrada a la planta piloto | 55 |
| 17. | Tragante ubicado en la entrada | 56 |
| 18. | Estado del tragante | 57 |
| 19. | Camino de acceso dentro de la planta | 57 |
| 20. | Estado del camino de acceso | 58 |
| 21. | Condición del camino de terracería..... | 59 |
| 22. | Camino por pavimentar | 60 |
| 23. | Elementos que evitan el uso total del camino | 61 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 24. | Ripio en el acceso a la planta | 61 |
| 25. | Cuneta en mal estado | 62 |
| 26. | Cuneta en el camino de acceso..... | 63 |
| 27. | Condición de la cuneta | 64 |
| 28. | Agua de lluvia proveniente de la colonia hacia la planta..... | 65 |
| 29. | Cauce de las aguas de lluvia | 66 |
| 30. | Vista de las lagunas de estabilización facultativas..... | 67 |
| 31. | Estado del material de recubrimiento..... | 68 |
| 32. | Condición del talud colindante a las lagunas | 69 |
| 33. | Desgaste del suelo del talud..... | 69 |
| 34. | Estado actual del humedal de tul..... | 70 |
| 35. | Falta de mantenimiento en el humedal de tul | 71 |
| 36. | Espacio destinado para estacionamiento | 72 |
| 37. | Área de parqueo | 72 |
| 38. | Chatarra a los lados del área de estacionamiento | 73 |
| 39. | Salida de agua por accesorios en la tubería..... | 74 |
| 40. | Biodigestor en mal estado | 74 |
| 41. | Modulación de losas | 92 |
| 42. | Cálculo de momentos | 105 |
| 43. | Esfuerzos..... | 110 |
| 44. | Muro de contención propuesto | 112 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I. | Niveles de zona sísmica | 11 |
| II. | Valores de K para curvas verticales..... | 37 |
| III. | Porcentaje anual de crecimiento de tráfico y factores de proyección ... | 42 |
| IV. | Datos topográficos del tramo de acceso..... | 76 |
| V. | Datos topográficos del área de parqueo | 77 |

| | | |
|---------|--|-----|
| VI. | Datos topográficos de laguna de estabilización facultativa 1 | 77 |
| VII. | Datos topográficos de laguna de estabilización facultativa 2 | 77 |
| VIII. | Factor de crecimiento del tráfico | 80 |
| IX. | Factor de sentido | 80 |
| X. | Factor de carril | 81 |
| XI. | Confiabilidad según su función | 82 |
| XII. | Desviación estándar..... | 83 |
| XIII. | Error estándar combinado..... | 84 |
| XIV. | Determinación del MR..... | 86 |
| XV. | Tiempo en el que tarda el agua en evacuarse | 86 |
| XVI. | Porcentaje de humedad próximos a saturación | 87 |
| XVII. | Coefficiente J para transferencia de cargas | 88 |
| XVIII. | Guía para la determinación del Módulo de Reacción K | 89 |
| XIX. | Resumen de datos | 91 |
| XX. | Propuesta de espesor | 91 |
| XXI. | Datos geométricos del pavimento | 96 |
| XXII. | Cálculo de carga sísmica en base a UBC | 100 |
| XXIII. | Carga de viento..... | 101 |
| XXIV. | Datos para cálculos de carga muerta..... | 102 |
| XXV. | Combinaciones de cargas..... | 102 |
| XXVI. | Refuerzo en sentido x-x | 108 |
| XXVII. | Acero requerido..... | 108 |
| XXVIII. | Refuerzo en sentido y-y | 109 |
| XXIX. | Acero requerido..... | 109 |
| XXX. | Predimensionamiento muro de contención | 112 |
| XXXI. | Coefficiente de empuje..... | 113 |
| XXXII. | Presiones horizontales del suelo..... | 113 |
| XXXIII. | Cargas totales de presión y momentos al pie del muro..... | 114 |
| XXXIV. | Momentos actuantes al pie del muro..... | 114 |

XXXV. Presupuesto por renglones..... 117

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------------|--------------------------------------|
| cm | Centímetro |
| cm² | Centímetro al cuadrado |
| cm³ | Centímetro al cubo |
| PCI | Índice de condición de pavimento |
| kg | Kilogramo (unidad de masa) |
| kg/cm² | Kilogramo por centímetro cuadrado |
| m | Metro |
| m² | Metro cuadrado |
| m³ | Metro cúbico |
| m³/s | Metro cúbico por segundo |
| ml | Mililitros |
| mm/hr | Milímetro por hora |
| Pa | Pascal (unidad de presión) |
| In | Pulgada |
| T | Toneladas (unidad de medida de masa) |

GLOSARIO

| | |
|-------------------------------|---|
| AASHTO | Siglas que corresponden a la entidad, <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes). |
| Agentes climáticos | Son aquellos que modifican, acentúan o limitan los elementos del clima y dan lugar a los distintos tipos de clima. Algunos factores son la latitud, vientos predominantes, altitud, relieve, entre otros. |
| Aguas residuales | Conjunto de aguas afectadas ya sea por acciones naturales o del hombre, que se generan a partir de residuos líquidos domésticos, urbanos, agrícolas, pluviales o industriales. |
| Asentamiento del suelo | Desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si resultan excesivos podrían originar fisuras, agrietamientos y otras patologías. |
| ASTM | Siglas que corresponden a la entidad, <i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales). |
| ESAL's | Siglas que corresponden a <i>Equivalent simple axle load</i> (eje simple equivalente de carga) son el número de |

pasadas de ejes transformados en un número de ejes tipo, que de acuerdo con AASHTO es un eje simple de 18 Kips.

Intemperismo

Es la alteración química o mecánica de los materiales rocosos expuestos al aire, a la humedad y al efecto de la materia orgánica.

Nomograma

Instrumento gráfico de cálculo, diagrama bidimensional que permite el cómputo gráfico aproximado de una función de cualquier número de variables.

Pendiente del terreno

Inclinación o desnivel del suelo.

Sismo

Serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco y repentino de las capas internas (corteza y manto).

Tangente

Recta que toca en un punto a una curva o a una superficie.

Terracería

Tierra que se acumula en terraplenes o camellones en los caminos o carreteras en obra o construcción.

Trasegar

Pasar un líquido de un recipiente o lugar a otro.

RESUMEN

El reordenamiento en la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa, ubicado en zona 13 de la Ciudad Capital, nunca ha existido. No se les ha dado mantenimiento y cuidado adecuado a las pocas unidades existentes en el lugar. Es por eso, que el objetivo principal de este trabajo de graduación es plantear el diseño de la vía de acceso, área de parqueo, drenaje y revitalización en las lagunas de estabilización y humedales de la Planta.

De las visitas de campo e información obtenida, se conoce el estado de cada uno de los elementos que la componen y los estragos que algunos han causado por carecer de la atención necesaria. Es por eso, que para este lugar se ha propuesto siguiente:

Para el ingreso a la planta, se propusieron unas columnas de concreto con medidas de 0,30 x 0,30 metros, y unas zapatas excéntricas de 0,70 m de ancho. Para esta, se propusieron también letras de hierro identificando el lugar y el escudo de la Universidad y su ornamentación. Esta entrada no se pensó con viga previendo el ingreso de algún vehículo pesado cuya altura supere los 4 metros.

Siguiendo el recorrido desde el ingreso, se realizó la propuesta de pavimentar el acceso a la planta con concreto hidráulico. El tramo es de 231 m, y se utilizaron juntas sin ningún transmisor de carga. El ancho total del pavimento es de 4 m, teniendo 2 m de cada carril. Este cuenta con un espesor de 15 metros en su subbase granular compactado según AASHTO T-191 y un espesor igual en el pavimento. Para sus extremos, por el espacio tan angosto se pensó en utilizar bordillos de 0,40 x 0,10 metros, pero, también está la propuesta de utilizar

cunetas y bordillos al mismo tiempo a manera de guiar el agua al punto de desfogue ubicado en la parte baja del área del parqueo.

Al mismo tiempo, se tienen dos lagunas de estabilización facultativas, las cuales poseen las mismas dimensiones, 42 metros en el largo y 14 metros en su ancho. A estas, se les ha reorganizado su espacio, por las fuertes lluvias y erosión de los taludes cercanos, se han rebalsado y perdido en su totalidad su funcionamiento, al no poseer el material de recubrimiento óptimo, lo que ha causado la contaminación por la infiltración de aguas negras en el suelo. Para esto se propuso realizar el movimiento de tierras necesario y cubrir todo el espacio en su perímetro mojado con cemento hidráulico cuyas propiedades sean impermeabilizantes, y a los lados se pensó un levantado de block vacío alisado con cemento. Ahora, para los dos taludes cercanos a las lagunas, se propuso un muro de concreto ciclópeo para evitar el empuje de la tierra en conjunto con una contracuneta para disipar la energía de la caída del agua.

Luego, con el estacionamiento se tienen previstos 52 espacios (aproximadamente de 5 m largo y 2,50 m de ancho), y cada uno con sus topes para vehículos. Este será controlado por una garita sencilla que no incluye sanitario y habría que evaluar si es posible hacer la instalación hidráulica en ese mismo punto o en otro lugar. Lo que sí se tiene contemplado es el desfogue del agua que desde el ingreso viene a un pozo ubicado detrás de los parqueos 13 y 26. El pavimento del estacionamiento, viene a ser el mismo del pavimento, y con eso no hay problema. Para estos dos últimos, desde su inicio se sugiere realizar la señalización horizontal y si se pudiera económicamente la vertical para controlar el orden y promover una educación vial adecuada y responsable dentro de la planta.

Los resultados son evidentemente buenos y el lugar los necesita, pero, este estudio necesita irse mejorando con el tiempo para que la planta comience a tener un valor más alto y sea de mayor provecho para los usuarios que buscan aprender o realizar investigaciones, aparte de que muchos datos encontrados acá se asumieron de casos vistos en laboratorios debido a que el estudio de suelos como tal no pudo realizarse por la situación mundial del COVID-19. Se recomienda que siempre se tomen en cuenta las ideas y cambios para ir mejorando.

OBJETIVOS

General

Plantear el diseño de la vía de acceso, área de parqueo, drenaje pluvial y lagunas de estabilización de la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa, diagonal 26 final, 20-56, Zona 13, Colonia Aurora II, Guatemala.

Específicos

1. Evaluar las condiciones de las instalaciones de la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa.
2. Determinar los parámetros de diseño para la vía de acceso y el estacionamiento.
3. Establecer los parámetros de diseño para el sistema de drenaje pluvial.
4. Identificar los parámetros de diseño para la revitalización de las lagunas de estabilización facultativas.
5. Plantear el diseño de las instalaciones de la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa.
6. Presentar los costos estimados de la propuesta de diseño.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, se basa en la revitalización de las unidades hidráulicas existentes como las lagunas facultativas, humedales, entre otros y el diseño de elementos cruciales, como la pavimentación del acceso y el área de estacionamiento, además de propuestas a problemas latentes en la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa.

La finalidad de estos proyectos es ayudar a que los espacios vacíos sean aprovechados y de que las unidades hidráulicas del lugar no se vean afectadas en sus procesos fisicoquímicos por la ausencia de mantenimiento y agentes climáticos, aportando así alternativas de diseños y costos que beneficien a largo plazo a estudiantes, profesores y profesionales.

Para analizar todo esto, es necesario conocer que la principal causa es la ausencia de responsabilidad de las entidades encargadas de dicho lugar, y esto ha impactado en forma negativa a la economía, el ámbito social y al medio ambiente, y dado que se tiene por medio del Ejercicio Profesional Supervisado el apoyo para realizar propuestas y estudios se pueden promover cambios con empresas o Municipalidades que deseen colaborar e incluso impulsar el desarrollo del lugar aumentando su plusvalía.

El interés académico de esta investigación será determinar los parámetros de diseños esenciales para la realización de los proyectos y proporcionar a estudiantes y profesionales las herramientas básicas para ampliar el estudio.

Esta tesis contendrá cuatro capítulos en donde se desarrollará el trabajo de investigación de la siguiente manera:

En el capítulo uno, se da a conocer la monografía del lugar, por ejemplo: ubicación y accesos, antecedentes, zona sísmica, geología, población, entre otros. Este capítulo busca que el lector conozca el lugar y determine aspectos de los que más adelante pudieran causar problema.

El capítulo dos, se da una introducción de los temas por tratar en la investigación, es decir, se explicará cada término a manera que el lector pueda identificar más adelante el orden y significado de este en caso no tuviera relación con los términos ingenieriles o simplemente lo desconoce en su totalidad.

En el capítulo tres, descripciones de proyectos, se detalla cada una de las deficiencias que el lugar posee y se colocan fotografías de estas.

Por último, en el capítulo cuatro, se desarrollarán y explicarán los procesos de cada una de las propuestas, se presentarán sus costos y planos para que al finalizar el trabajo se pueda evaluar si han tenido una incidencia positiva y logran mejorar cada deficiencia que tiene la planta y que tan accesible, hablando económicamente resulta el uso de estas.

1. MONOGRAFÍA DE PLANTA PILOTO ZONA 13

“Guatemala se encuentra situado en el istmo centroamericano y tiene colindancias al oeste y norte con México, al este con Belice y golfo de Honduras y al sureste con Honduras y El Salvador”.¹

También, cuenta con una extensión territorial de 108 889 km² y se encuentra integrado por 22 departamentos, los cuales se dividen en 340 municipios. Su capital es la ciudad de Guatemala y cuenta con 23 zonas distribuidas en forma de espiral con dirección contraria a las agujas del reloj.²

1.1. Ubicación y accesos

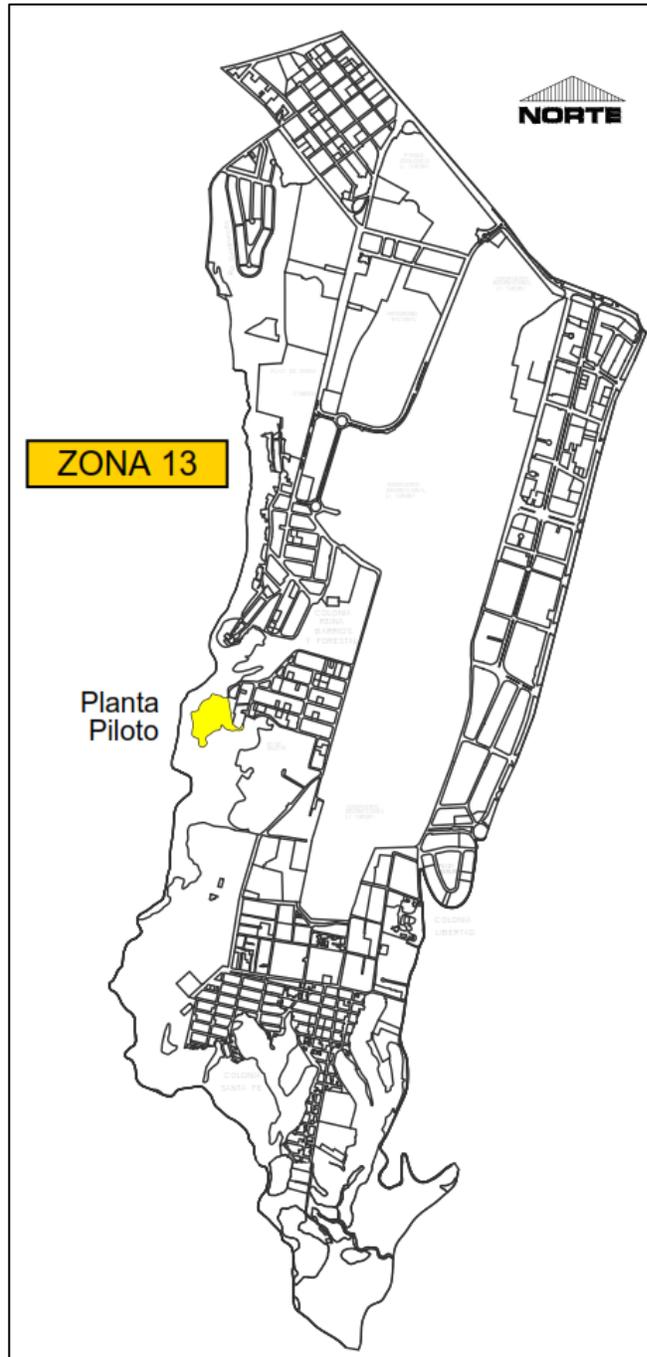
La zona 13 capitalina está localizada en el área Sur del municipio de Guatemala y sus colindancias son; al Oeste de la zona 14, al Este de la zona 12, al Norte de la zona 21 y al Sur de las zonas 8, 9 y 10. Este trabajo de investigación se realizó basado en esta zona, por tanto, la ubicación y colindancias van referenciadas a este lugar.³

¹ Organización de Naciones Unidas, ONU. *Acerca de Guatemala*. <https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/como-se-distribuyeron-las-zonas-de-la-ciudad-deguatemala/#:~:text=Posteriormente%2C%20en%20el%20a%C3%B1o%201972,zonas%2020%2C%2022%20y%2023>. Consulta: marzo de 2021.

² AROCHE, Karin. *Cómo se distribuyeron las zonas de la Ciudad de Guatemala*. <https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/como-se-distribuyeron-las-zonas-de-la-ciudad-deguatemala/#:~:text=Posteriormente%2C%20en%20el%20a%C3%B1o%201972,zonas%2020%2C%2022%20y%2023>. Consulta: marzo de 2021.

³ RAMÍREZ CERNA, Manuel Eduardo. *Evaluación del consumo de agua potable en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala en los años 2008-2010*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3536_C.pdf. Consulta: marzo de 2021.

Figura 1. **Ubicación de zona 13**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Gall en 1978 describe a la zona 13 de la siguiente manera:

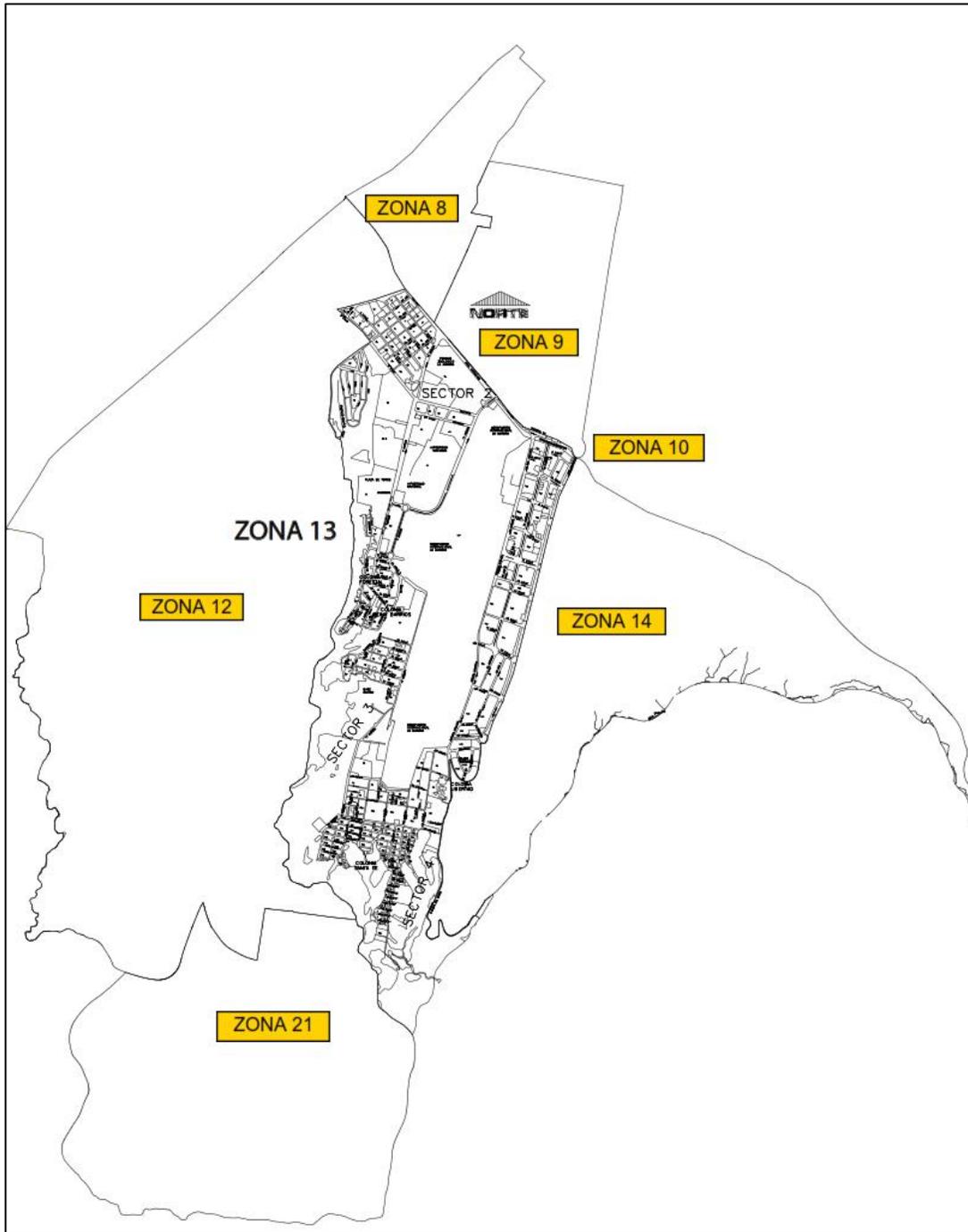
Se describirá a partir de la intersección del boulevard Tecún Umán y avenida Las Américas a la altura del obelisco de los Próceres de la Independencia, hacia el sur por medio de esta última avenida rodeando e incluyéndola en esta zona, a la notificación El Mirador Elgin, por el sur hasta encontrar la avenida Hincapié, la que se seguirá hacia el sur hasta alcanzar el puente Shangrilá sobre el río Pinula, el cual se recorrerá aguas abajo hasta su confluencia con el río Guadrón, el cual se seguirá aguas arriba mientras conserve este nombre y también al adquirir el de Guadroncito.

Más al norte, para tomar más adelante la avenida que pasa al poniente de la notificación Lomas de Pamplona, siempre hacia el norte hasta su intersección con la 8ª calle de la zona 12, y que adquirirá el nombre de 5ª calle de la zona 13, la cual se seguirá hacia el poniente hasta alcanzar la 18 avenida de la zona 12; luego por medio de esta hacia el norte hasta la vía férrea, la que se recorrerá siempre hacia el norte hasta encontrar el boulevard Tecún Umán, por medio del cual se buscará el punto de origen de la descripción.⁴

Los accesos que posee la zona 13, proceden de la zona 8, 9, 10, 12, 14 y 21; el acceso proveniente de la zona 9 es por la 6ta. Avenida y boulevard Liberación, el que proviene de la zona 10 es por la Avenida La Reforma, el de la zona 12 es por la 7ª calle A y el acceso proveniente de la zona 14 es por la Avenida Las Américas.

⁴ GALL, Francis. *Diccionario geográfico de Guatemala*. p. 229.

Figura 2. **Accesos a zona 13**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

La zona 13 de la ciudad de Guatemala se encuentra a una altura de 1 490 metros sobre el nivel del mar en una altitud de 14°35'10" y una longitud de 90°36'40".

1.2. Antecedentes e historia de la Planta Piloto en zona 13

La planta Piloto "Ing. Arturo Pazos Sosa", se dio por inaugurada en 1974, con el fin de apoyar a la docencia e investigación de los programas de maestría de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y a la población de la colonia Aurora II, tratando las aguas residuales de dicha urbanización, la cual constituye una actividad de extensión.

El proyecto original de tratamiento de aguas residuales para las colonias Aurora I y II fue desarrollado por El Instituto Nacional de la Vivienda (INVI), que después se transformó en el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI). Este, originalmente consistía en lagunas de estabilización, pero surgieron problemas que no permitieron alcanzar las eficiencias adecuadas, por esa razón en 1973 esta organización contactó con ERIS para solucionar dichos inconvenientes, y así fue como este propuso el desarrollo de una planta experimental piloto que permitiera el tratamiento adecuado de las aguas residuales y a su vez sirviera para la docencia e investigación de otros sistemas aplicables a Guatemala y Centro América.

El BANVI por su parte aceptó dicha propuesta y entregó el sitio para su administración, seguidamente se preparó un proyecto de cooperación para ser presentado al Gobierno Federal Suizo y la Organización Mundial de la Salud (OMS) quienes lo aceptaron y ejecutaron por medio de la *Ecolepoly Technique Federale de Lausanne*.

El proyecto original consistió en la eliminación de las lagunas de oxidación, instalación de tuberías de conducción, desarrollo y construcción de las siguientes unidades de tratamiento: sedimentación primaria filtro torre, sedimentador secundario y digester de lodos, por medio del tanque Imhoff y patio de secado de lodos, todo a escala natural, pero, con el paso del tiempo el caudal original de aguas negras disminuyó, los drenajes de la colonia Aurora I se desviaron y actualmente se tratan las aguas negras de la colonia Aurora II, pero ese problema persiste y hoy día es una de las mayores deficiencias que la planta tiene debido a los efectos que ocasiona.

La ERIS, ha tenido a su cargo durante muchos años la planta piloto de tratamiento de aguas residuales que cuenta con aproximadamente 14 manzanas de terreno. Esta se encuentra ubicada en la colonia militar Aurora II en zona 13, Guatemala, y limita al norte con el Observatorio Nacional, al este con el Aeropuerto Internacional La Aurora y al sur y oeste con barrancos. Siendo entonces su ubicación $14^{\circ} 34' 36''$ de latitud norte y $90^{\circ} 32' 12''$ de longitud oeste con una altitud que varía entre 1 455 a 1 502 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Actualmente la planta piloto cuenta con seis sistemas principales de tratamiento, siendo estos: lagunas de estabilización tipo facultativas (las cuales ya colapsaron), humedales como tratamiento secundario (carecen de mantenimiento), filtros percoladores tipo torre sin recirculación, reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), utilizando recipiente plástico de polietileno (este ya tiene desgaste debido a los rayos ultravioleta), y la reutilización de las aguas residuales tratadas para riegos de pastos.

1.3. Información general

Se describen las características importantes del lugar en donde se realizó el estudio.

1.3.1. Hidrografía y orografía

En esta zona se encuentra el río Guadrón o Guadroncito cerca del Parque Nacional La Aurora en la zona 13 de la ciudad de Guatemala. Este recorre de sur a norte, pasando al oeste de la aldea La Libertad, al oeste de la aldea Los Guajitos y descarga en el río Pinula en una latitud de 14°43'02" y longitud 90°31'47".⁵

1.3.2. Temperatura promedio anual

El clima en donde se ubica el proyecto es cálido y templado, cuenta con una temperatura, en promedio, de 19,4 °C.

1.3.3. Precipitación

La precipitación aproximada es de 1 257 mm y según datos registrados, la estación más cercana se encuentra en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la cual se encuentra ubicada en la 7ª avenida 14-58, zona 13, colonia Aurora II, Cdad. De Guatemala, es decir está a unos cuantos metros de la Planta Piloto.

⁵ RAMÍREZ CERNA, Manuel Eduardo. *Evaluación del consumo de agua potable en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala en los años 2008-2010*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3536_C.pdf. Consulta: marzo de 2021.

1.3.4. Inundaciones

Al momento no se encuentran datos referentes a inundaciones en el lugar, pero, vecinos cercanos comentan que hace 30 años hubo inundaciones en la planta, tanto que las obras hidráulicas se vieron afectadas en su proceso fisicoquímico. Sin embargo, el caudal de descarga de la planta piloto de la ERIS según Schwartz es de “3,6 l/s para caudal máximo y 2,3 l/s como caudal mínimo”⁶.

1.3.5. Población

Ramírez en su trabajo de graduación menciona que para el “1994 se determinó una población de 23 263 habitantes en la zona 13 y para el 2002, 26 734 habitantes”⁷ y por medio de la fórmula de crecimiento aritmético se estimarán las poblaciones para el año 2005, 2010, 2015 y 2020.

- Población en 2005
 $Pf(2005) = Pa(2002) * (1 + 19 * 3 / 1\ 000) = 28\ 258$ habitantes
- Población en 2010
 $Pf(2010) = Pa(2005) * (1 + 19 * 5 / 1\ 000) = 30\ 943$ habitantes
- Población en 2015
 $Pf(2015) = Pa(2010) * (1 + 19 * 5 / 1\ 000) = 33\ 883$ habitantes

⁶ SCHWARTZ, Max. *Remoción de estreptococos fecales en la planta de tratamiento de aguas residuales Aurora II, estudio especial ERIS-USAC, 2003.* https://www.academia.edu/34711547/Remocion_de_Estreptococos_Fecales_Aurora_II. Consulta: marzo de 2021.

⁷ RAMÍREZ CERNA, Manuel Eduardo. *Evaluación del consumo de agua potable en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala en los años 2008-2010.* http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3536_C.pdf. Consulta: marzo de 2021.

- Población en 2020

$$Pf (2020) = Pa (2015) * (1+19*5/1 000) = 37 102 \text{ habitantes}$$

Ahora, con respecto a la colonia militar La Aurora II, la población cuenta con todos los servicios básicos: energía eléctrica, recolección de basura, abastecimiento de agua potable, calles asfaltadas, alumbrado público, alcantarillado pluvial y sanitario y aproximadamente hay “3 350 habitantes, con una densidad poblacional de 6 habitantes por casa”⁸.

Cabe mencionar que, dentro de los servicios, la colonia cuenta con pavimento flexible y en buen estado. No hay fallas visibles en este, pero, en el ingreso a la planta todo es terracería y debido a los agentes climáticos e inestabilidad de la capa del suelo hay desgaste en el pavimento.

Las personas beneficiadas serán todas aquellas personas que ingresen a la planta piloto a realizar visitas, estudios o desarrollen proyectos en esta.

1.3.6. Zona sísmica

La planta piloto ubicada en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala pertenece al altiplano central del país, y según De León en el 2008 explicó que existe para este departamento, una amenaza en términos de intensidad de un 10 % de probabilidad en 50 años de que un sismo provoque daños severos (VIII), como los siguientes:

- Las personas difícilmente logran mantenerse de pie, dentro o fuera de las instalaciones.

⁸ SCHWARTZ, Max. *Remoción de estreptococos fecales en la planta de tratamiento de aguas residuales Aurora II, estudio especial ERIS-USAC, 2003.* https://www.academia.edu/34711547/Remocion_de_Estreptococos_Fecales_Aurora_II. Consulta: marzo de 2021.

- Los objetos pueden volcarse y se pueden ver ondas en suelos muy suaves.
- Muchos edificios vulnerables de clase A sufren daños de grado 4 y pocos de grado 5.
- Muchos edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 3 y pocos de grado 4.
- Muchos edificios vulnerables de clase C sufren daños de grado 2 y pocos de grado 3.
- Pocos edificios vulnerables de clase D sufren daños de grado 2.⁹

1.3.6.1. Zonificación sísmica

Guatemala, está dividido en cuatro zonas sísmicas. El nivel más bajo se le asigna a la mitad nororiental del país. Las siguientes partes a medida que se acercan al Océano Pacífico aumentan su intensidad. Las zonas que representa mayor cuidado y han resultado las más importantes en el país son la falla del Motagua-Polochic y la zona de subducción.

1.3.6.2. Niveles de intensidad sísmica

Santana considera tres niveles de intensidad sísmica como: frecuente, severa y extrema. El nivel correspondiente a terremoto severo corresponde al nivel base. El frecuente es asignado a un nivel de aceleración más bajo en cada zona sísmica y el extremo es aquel que producirá un 30 % de incremento en los niveles de aceleración pico con respecto al caso severo. Según la investigación que realizó el autor mencionado anteriormente se presentan los niveles de zona sísmica.¹⁰

⁹ VILLAGRÁN DE LEÓN, Juan Carlos. Riesgo sísmico en Guatemala: Hacia una respuesta institucional por parte de la Facultad de Ciencias Médicas de la USAC. <http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0241/doc0241.pdf>. Consulta: marzo de 2021.

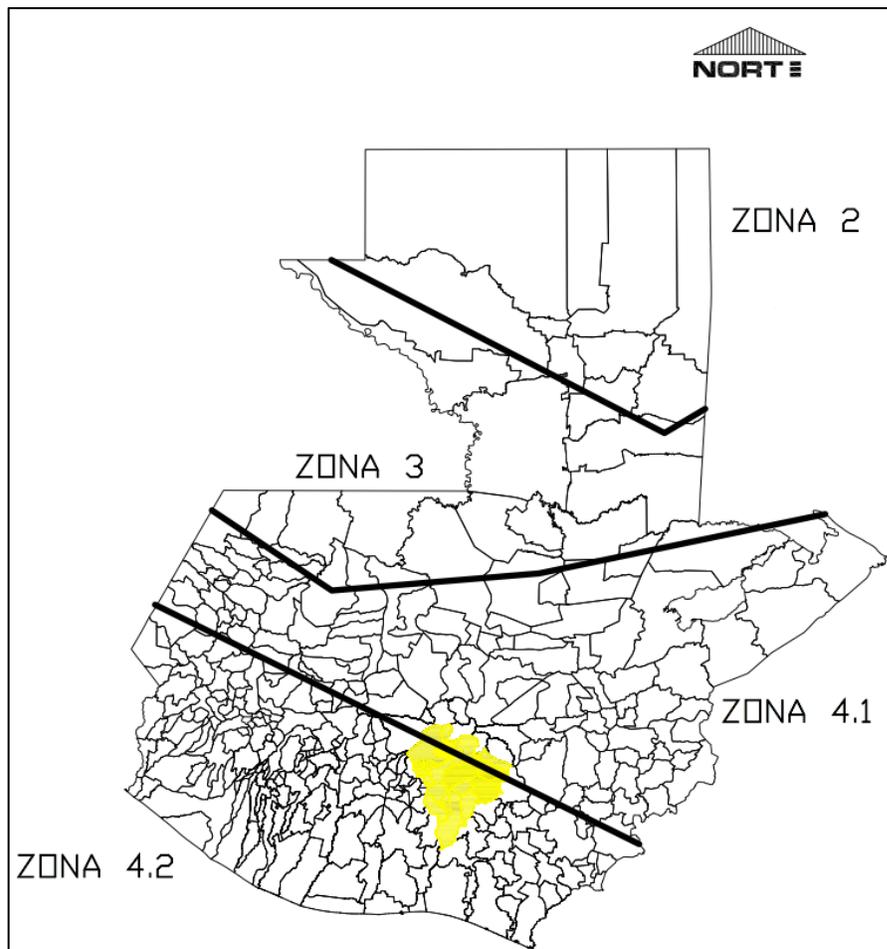
¹⁰ SANTANA, Guillermo. *Evaluación de código sísmico en Guatemala*. p. 3.

Tabla I. **Niveles de zona sísmica**

| Zona sísmica | Io | Ao | Af | Ae |
|--------------|----|---------------|---------------|---------------|
| 2 | 2 | 0.10 g | 0.00 g | 0.13 g |
| 3 | 3 | 0.10 a 0.30 g | 0.00 a 0.10 g | 0.13 a 0.39 g |
| 4.1 | 4 | 0.30 g | 0.10 a 0.15 g | 0.39 g |
| 4.2 | 4 | 0.30 g | 0.15 g | 0.39 g |

Fuente: SANTANA, Guillermo. *Evaluación de código sísmico en Guatemala*. p. 3.

Figura 3. **Zonas sísmicas de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Es importante notar que el departamento de Guatemala y por ende la zona 13 capitalina se encuentra ubicado entre la zona sísmica 4,1 y 4,2.

1.3.7. Geología

“El departamento de Guatemala cuenta con un 94,7 % de rocas ígneas y metamórficas, mientras que de rocas sedimentarias únicamente 4,99 % y el resto es agua”.¹¹

1.3.8. Cobertura vegetal y uso de la tierra

Este hace referencia a la representación de la cubierta y del uso dado por el hombre a las áreas del territorio nacional. Se define a la cobertura como la vegetación, aguas y otros elementos que ocupan la superficie de un territorio, cuando esas coberturas son afectadas por el ser humano se denominan usos de la tierra.

Para la UPGGR, Guatemala está dividida de la siguiente forma:

- “Infraestructura 13,71 %
- Cultivos 52,28 %
- Pastos/matorrales 2,96 %
- Bosque natural 29,63 %
- Cuerpos de agua 0,69 %
- Humedales y tierras inundables 0,00 %
- Tierras áridas o estériles 0,75 %”¹²

¹¹ Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, UPGGR. *Atlas temático de la república de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: marzo de 2021.

¹² *Ibíd.*

1.3.9. Capacidad de uso de la tierra

El departamento de Guatemala posee diferentes clases dependiendo de la capacidad del uso de la tierra. Según la UPGGR, están:

- Clase VII (57,24 %): tierras no cultivables, aptas solamente para fines de producción forestal, relieve quebrado con pendientes muy inclinadas.
- Clase VI (22,97 %): tierras no cultivables, salvo para algunos cultivos perennes, principalmente para producción forestal.
- Clase III (10,99 %): tierras cultivables, tienen medianas limitaciones para producción agrícola.
- Clase VIII (4,39 %): tierras no aptas para cultivo, solo para parques nacionales, recreación y vida silvestre y protección de cuencas hidrográficas.
- Clase IV (2,25 %): tierras cultivables con severas limitaciones permanentes, con relieve ondulado.
- Clase II (1,47 %): tierras cultivables con pocas limitaciones.
- Agua (0,89 %) ¹³

1.3.10. Intensidad de uso de la tierra

La intensidad de uso de la tierra es la representación de una comparación entre el uso dado a una unidad de tierra versus la capacidad de uso, de esta surgen tres categorías: uso correcto, sobreuso y subuso. El uso correcto clasifica aquellas tierras que reúnen las condiciones óptimas para el desarrollo productivo, el sobreuso califica tierras en lugares donde el suelo tiene limitaciones como pendiente, erosión, profundidad efectiva, entre otros, donde a pesar de las limitaciones, se realizan actividades productivas intensivas que favorecen el deterioro edáfico y del medio en general y el subuso califica a los suelos que son aptos para el desarrollo de actividades productivas en forma más intensiva que la desarrollada en la actualidad y en los que sin embargo, se desarrollan actividades de baja intensidad.

¹³ Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, UPGGR. *Atlas temático de la república de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: marzo de 2021.

“El departamento de Guatemala posee un 45,88 % de suelo sobre utilizado, 34,88 % de uso correcto, 13,71 % de áreas urbanas, 5,25 % de subutilizado y un 0,28 % de cuerpos de agua”.¹⁴

La clasificación del suelo en el lugar de estudio es de sobreuso debido a las limitaciones que presenta el terreno como pendientes y erosión. El suelo no ha recibido mantenimiento, y es importante conocer los factores climáticos por los que se ve afectado, sus características y si sufre de licuefacción, por ejemplo, entre otros. Todo esto con el objetivo de determinar la adaptabilidad de tierras nuevas para la colonización o para proyectos de irrigación y drenaje e incluso para planes reguladores del uso de la tierra, urbanización y carreteras.

¹⁴ Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, UPGGR. *Atlas temático de la república de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: marzo de 2021.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos generales

Se detallan los conceptos globales empleados para la realización de cada uno de los proyectos propuestos en el trabajo de grado.

2.1.1. Topografía

La topografía se encarga de estudiar el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de dos distancias y una elevación. Esta rama de la ingeniería se basa en la geometría plana y del espacio, trigonometría y matemáticas en general. El autor menciona que es vital tomar en cuenta las cualidades personales como la habilidad para manejar los instrumentos y el buen criterio.

Al realizar la topografía, normalmente se realizan levantamientos, los cuales son un conjunto de operaciones que determinan las posiciones de puntos, algunas veces se calculan superficies y volúmenes y la representación de medidas tomadas en el campo mediante perfiles y planos.

Existen tres tipos de levantamientos de forma general, estos son: de ingeniería, geodésicos y topográficos. En este trabajo de investigación se hará énfasis en este último.

2.1.1.1. Preliminar de campo

Los estudios preliminares son aquellos que permiten identificar el terreno, recolectar datos y antecedentes del lugar. El objetivo de estos es definir los diseños y procedimientos de los proyectos por ejecutarse a manera que problemas como los sobre costos, daños estructurales y posibles riesgos de seguridad en el futuro no sucedan.

2.1.1.2. Levantamiento topográfico preliminar

Un levantamiento topográfico tiene como fin recolectar suficientes datos de campo para confeccionar planos y mapas en el que figura el relieve y la localización de puntos, detalles naturales o artificiales.

Este tipo de levantamiento tiene como finalidad la determinación de las fisuras de terrenos y masas de agua para utilizarse en la construcción de obra vertical y horizontal.

Normalmente, dentro de los levantamientos se cuenta con la división operacional de la topografía, y se compone muchas veces por la planimetría, altimetría o ambas.

2.1.1.2.1. Planimetría

Es la representación horizontal de los datos de un terreno y tiene como finalidad determinar las dimensiones de este. En esta rama se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal sin importar sus elevaciones, es decir, se representa el terreno visto desde arriba o planta.

Para la planimetría, normalmente se utiliza teodolito como instrumento universal y cinta métrica para determinar las distancias con mayor exactitud. Las distancias con las que se trabaja y se identifican en planos, siempre son horizontales o se convierten por medio de datos auxiliares como la pendiente o ángulo vertical.

2.1.1.2.2. Altimetría

Altimetría o también llamada hipsometría estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar las diferencias de nivel o altura de cada punto con respecto a un plano de referencia. Algunos de los instrumentos usados en este procedimiento son el teodolito, cinta métrica y el nivel.

Es necesario conocer también que existen diferentes tipos de alturas y de sistemas de referencia a partir de los cuales se las mide. Cuando se habla de sistemas de representación altimétrica se refiere a la forma en la que son representadas gráficamente las alturas, las más comunes según Mora, se mencionan a continuación:

- “Cotas
- Relieve
- Esfumaje
- Diapasones
- Curvas de nivel
- Capas batimétricas
- Trazos horizontales
- Capas hipsométricas

- Trazos de pendientes”¹⁵

El sistema utilizado en este trabajo de investigación fue el de curvas de nivel, permitió visualizar de forma simultánea las áreas planas y empinadas de la superficie.

- Secciones transversales

Este es un método presente más que todo en el diseño de carreteras y pavimentos y consiste en obtener las cotas de los puntos medidos, tomando como referencia el eje central hacia los lados.

2.1.2. Geotecnia

La ingeniería geotécnica es una rama de la ingeniería civil, que se encarga de estudiar las propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas y de ingeniería del suelo para determinar sus propiedades y relacionarlas con la ingeniería civil (por ejemplo, estructuras, edificaciones, puentes, estabilidad de taludes, construcción de carreteras, entre otros).

Como se menciona anteriormente, esta rama se ve beneficiada de otras como la Hidrología, Hidráulica, Geología y la Mecánica de Suelos. Esta última, “es la rama de la ingeniería que implica el estudio de las propiedades de los suelos y su comportamiento bajo esfuerzos y las deformaciones en condiciones idealizadas”.¹⁶

¹⁵ MORA, Mariana. *Altimetría*. <https://www.studocu.com/latam/document/instituto-universitario-politecnico-santiago-marino/topografia/altimetria-teoria-3-altimetria/11630556>. Consulta: noviembre de 2020.

¹⁶ DAS, Braja. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 8.

En la Mecánica de Suelos, suele evaluarse el origen y formación de suelos debido a que es muy importante la información que arroja la realización de ensayos para determinar si una estructura debe ejecutarse en cierto lugar.

Una roca es un agregado formado por minerales unidos por una fuerza de cohesión y no pueden ser separados por simples procesos mecánicos, a diferencia del suelo que son agregados naturales formados por partículas minerales provenientes de la erosión de la roca, estos sí pueden ser separados por simples procesos mecánicos. Todo el intemperismo que sufre la roca es lo que ocasiona el origen de los suelos y uno de los más frecuentes es la erosión que por medios físicos como el agua, viento e incluso el hielo surgen los tipos de suelo que hoy día se conocen como grava, arena y limo y por cambios químicos como la hidratación, hidrólisis, oxidación y disolución aparece la arcilla.

Según Das los tipos de suelos formados por un intemperismo físico, químico o mecánico y cuya composición química es igual a la de la roca madre, se describen de la siguiente forma:

- Gravas: acumulaciones sueltas de fragmentos de roca cuyas partículas están entre 76,2 mm hasta 2,00 mm.
- Arenas: son acumulaciones de grano fino sueltos de fragmentos de roca, cuyas partículas están entre 2,00 mm hasta 0,0075 mm. es igual a la de la roca madre.
- Limos: son suelos de granos más finos que las arenas con poca o ninguna plasticidad. Normalmente sus partículas están entre 0,0075 mm hasta 0,002 mm.
- Arcillas: suelos de partículas sólidas con o mucha plasticidad, cuyas partículas son menores a 0,002 mm.¹⁷

Al identificar los diferentes tipos de suelos que existen, es necesario conocer los pasos a seguir para determinar el suelo que se tiene y que tan conveniente resulta trabajar en él o bien que soluciones ingenieriles se le pueden

¹⁷ DAS, Braja. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 28.

brindar. Para esto es necesario hacer la toma de muestra que no es más que el muestreo representativo de los suelos que se utilizaran. Esta se puede clasificar en muestras inalteradas y alteradas, de esta se desglosan las representativas e integrales.

Normalmente, para el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se realizan muestras inalteradas, con este se conserva la estructura y el contenido de agua natural del suelo del lugar donde se tomó la muestra. Luego, se realiza el secado, disgregado y cuarteo del suelo para obtener porciones representativas, a estas se les realizaran los ensayos de laboratorio.

2.1.2.1. Clasificación del suelo

La clasificación del suelo se determina por medio de dos ensayos de laboratorio, siendo estos: el granulométrico y los límites de Atterberg.

- **Ensayo granulométrico**

El análisis del tamaño de partículas implica el uso de pantallas o tamices con aberturas estándar para separar las partículas de ciertas muestras de suelo por rango de tamaño. De acuerdo con esta prueba de laboratorio se pueden obtener datos y las siguientes constantes del suelo se pueden determinar en consecuencia.

- Coeficiente de uniformidad y curvatura
- Porcentaje de grava, arena y finos
- Clasificación de suelos según SUCS o AASHTO
- Curva granulométrica

- Este ensayo se detalla en la Norma *ASTM D-423*.
 - Ensayo de límites de Atterberg

El límite líquido de una muestra del suelo está definido como su porcentaje de humedad y que por debajo de este presenta un comportamiento plástico. Si la muestra del suelo alcanza proporciones de humedad superiores al límite líquido, la conducta de este cambiará al de un fluido viscoso. Este parámetro es esencial para la clasificación de los suelos para determinar asentamientos o problemas de consolidación.

El límite plástico se ha definido como la frontera existente entre los estados plástico y semisólido de una muestra de suelo. El índice de plasticidad es tomado como la diferencia entre los valores de límite líquido y plástico.

Para determinar las correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y compactibilidad, se podrán emplear los límites en conjunto con el índice de plasticidad.

Estos ensayos se pueden visualizar en *ASTM D-423* O *ASTM D-424* respectivamente.

- Ensayos para determinar la resistencia del suelo

La resistencia del suelo es determinada por medio del ensayo de Relación de Soporte de California (CBR), o también conocido como valor soporte del suelo, este se describe a continuación:

- Ensayo de relación de soporte de California (C.B.R.)

Este ensayo es ampliamente aplicado en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos comenta Adviesbureau, y busca evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras, como también generar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura del pavimento cuando el suelo se satura. Mediante este ensayo se podrá indicar la pérdida de resistencia debida a la saturación en campo.

Este ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos, estas son:

- “Contenido de humedad
- Curva de presiones de penetración
- Densidad húmeda y seca
- Porcentaje de expansión
- Valor de CBR a diferentes penetraciones normalmente a 0,1” y 0,2”¹⁸

2.1.2.2. Ensayos para controlar la construcción de pavimentos

Los ensayos para el control de la construcción de pavimentos son los siguientes:

- Ensayo de contenido de humedad: para la determinación de este se necesita determinar el contenido de humedad para realizar el ensayo de

¹⁸ ZAFECO. *Ensayos de laboratorio de suelos*. <http://www.zafeco.nl/index.php/es/investigacion-del-suelo/ensayos-de-laboratorio-de-suelos>. Consulta: noviembre de 2020.

compactación o Proctor, el ensayo de valor soporte del suelo (CBR), y los límites de consistencia o de Atterberg.

- Ensayo de compactación o Proctor modificado: la compactación es un proceso artificial a través del cual las partículas de un suelo son forzadas a estar más cerca unas de otras y por ende en más contacto unas de otras produciendo una reducción en su relación de vacíos y en base a ello un mejoramiento considerable de sus propiedades ingenieriles, disminuyendo su deformabilidad y aumentando su resistencia al corte, su peso específico seco y mejorando su condición de permeabilidad.

Este ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar el contenido de humedad óptima, peso unitario seco máximo y el gráfico de contenido de humedad vs peso unitario.

Para alcanzar la densidad máxima deseada es necesario que la masa del suelo tenga la humedad deseada, es decir óptima. Este ensayo puede realizarse también no solo con el Proctor modificado sino con el Estándar. Para carreteras en Guatemala se debe utilizar el modificado y realizar el proceso analítico que indica la norma AASHTO T-180.

2.1.2.3. Movimiento de tierras

El movimiento de tierras es el conjunto de actuaciones que se deben realizar a la hora de preparar un terreno en el que, posteriormente, se llevará a cabo una obra.

Para este procedimiento se suelen realizar tareas de desbroce, que consisten en acondicionar el terreno eliminando todo tipo de plantas, maleza u objetos que puedan entorpecer el trabajo.

Luego de esto, es necesario llevar a cabo trabajos de excavación, separación o extracción. Esta fase se puede realizar de dos maneras diferentes: de forma manual o de forma mecánica con las excavadoras.

Es importante conocer que las excavaciones pueden ser de desmonte, vaciado o terraplenado, estas se describen a continuación.

- Desmonte: consiste en mover volúmenes grandes de tierra sobre la rasante de la edificación, los trabajos que se realizan pueden ser en tierra o en roca.
- Vaciado se busca quitar la tierra que haya por debajo de la rasante del plano de arranque de la construcción.
- Terraplenado: se basa en colocar la tierra o el material que se considere oportuno para que el terreno alcance el nivel necesario.

Cabe destacar que el material o producto que se obtiene se debe depositar en otro punto y, para ello, es imprescindible contar con determinado medio de transporte o maquinaria. Para realizar los trabajos de movimiento de tierras como: soltar y remover, elevar y cargar, distribuir y compactar, es imprescindible contar con los medios necesarios.

2.2. Conceptos específicos

Enseguida, se describen los temas empleados para el diseño de los proyectos propuestos en este trabajo de grado.

2.2.1. Pavimento

Antes de describir las consideraciones de diseño, se considera importante saber la definición de un pavimento, que según Vásquez “es aquella estructura compuesta por capas apiladas horizontalmente entre sí que se diseñan y construyen con materiales apropiados para resistir adecuadamente las cargas transmitidas por el tránsito durante el período de servicio para el cual se diseñó”¹⁹.

Algunas de las características que un pavimento debe contener son las siguientes:

- Resistencia a la acción de cargas
- Resistencia a los agentes de intemperismo
- Condiciones adecuadas de drenaje
- Estructura cómoda, segura y duradera
- Textura superficial adaptada a las velocidades de diseño de la vía
- Color adecuado para evitar deslumbramientos y ofrecer seguridad vial
- Resistencia al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

“Normalmente, los pavimentos se clasifican en rígido y flexible, incluso pueden existir soluciones intermedias a las cuales se les ha nombrado pavimentos combinados o semirrígidos”²⁰. En este trabajo de investigación se hará énfasis únicamente en los pavimentos rígidos.

¹⁹ CASTRO VÁSQUEZ, María Gabriela. *Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido*. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/1717/3308>. Consulta: noviembre de 2020.

²⁰ Ibid.

2.2.1.1. Pavimento rígido

Un pavimento rígido, no es más que un pavimento compuesto por una losa de concreto hidráulico. La característica peculiar que este posee es que por su rigidez logra distribuir las cargas verticales sobre un área grande con presiones reducidas. Salvo en bordes de losas y juntas sin pasa juntas. En este tipo de pavimento las deflexiones o deformaciones elásticas son inapreciables.

- Ventajas y desventajas

Algunas de las ventajas y desventajas que presenta un pavimento rígido son:

- Reciclable: la resistencia tan alta que se logra en los pavimentos rígidos provoca que el material sea difícil de demoler, dificultando con ello las posibilidades de reutilizarse, sin embargo, hoy día existen avances tecnológicos que permiten equipos mucho más eficientes en la demolición de pavimentos rígidos.
- Regularidad: gracias a la tecnología, es posible que los acabados de un pavimento rígido sean muy buenos además de que por su constitución y capacidad estructural estos ayudan a que todo se mantenga sin deformaciones.
- Mantenimiento: el mantenimiento que un pavimento rígido requiere es mínimo, sin embargo, este deberá realizarse con los materiales y técnicas adecuados ya que es primordial tratar a tiempo situaciones como los agrietamientos que pueden provocar en un futuro problemas de bombeo, despotillamientos y roturas de losas.
- Capacidad estructural: este tipo de pavimento es proyectado normalmente para una vida útil de 40 a 50 años y si es bien diseñado y cuenta con un mantenimiento adecuado, la capacidad estructural que este tendrá será excelente.
- Resistencia al derrapamiento y drenaje superficial: el pavimento de concreto se logra por medio de un escobillado y por sus características el agregado grueso no queda expuesto al contacto con los vehículos por lo que la capa de micro textura contra el derrapamiento es muy baja además de que por su naturaleza el cemento Portland es un material susceptible al pulido por lo que la pérdida de la resistencia al deslizamiento es rápida. Sin embargo, por el avance de la tecnología existen equipos de fresado

que brindan a los pavimentos en su mantenimiento un nuevo texturizado para evitar problemas de derrapamiento.²¹

2.2.1.2. Estructura de un pavimento rígido

Coronado menciona que la estructura de un pavimento rígido o flexible se define de la siguiente manera:

- Subrasante: es la capa de terreno de una carretera que soporta toda la estructura de un pavimento y se extiende a una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa de pavimento pretende ser un soporte para el pavimento luego de estabilizarse, homogenizarse y compactarse. Esta dependiendo de sus características puede soportar directamente la capa de rodadura de un pavimento rígido.
- Subbase: capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir de forma uniforme todas las cargas aplicadas a la carpeta de rodadura a manera de absorber las variaciones inherentes al suelo que puedan afectar a la subbase. Este además se utiliza como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua para proteger la estructura del pavimento. Está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de un espesor establecido por el diseñador el cual debe estar compactado, según las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante, pero en ningún caso menor de 10 cm ni mayor de 70 cm. Deberá estar libre de vegetales, basura, terrones de arcilla, y/o cualquier otro material que pueda causar fallas en el pavimento. Esta capa resulta muy importante porque elimina la acción del bombeo, aumenta el valor soporte y hace mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la subrasante.²²

La subbase está compuesta por suelos granulares en estado natural o mezclados, y estos deben llenar los siguientes requisitos:

- Valor soporte: debe contar con un CBR mínimo de 30 % según AASHTO T-193, efectuando sobre una muestra saturada a 95 % de compactación según AASHTO T-180.

²¹ SERMENT, Vinicio. *Pavimentos rígidos y flexibles ventajas y desventajas*. <https://es.scribd.com/doc/175788220/Vinicio-Serment-Pavimentos-Rigidos-y-Flexibles-Ventajas-y-Desventajas>. Consulta: enero de 2021.

²² CORONADO ITURBIDE, Jorge. *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf>. Consulta: enero de 2021.

- Granulometría: el tamaño máximo de las piedras del material que se utilice para subbase no debe ser mayor de 7 cm y no tener más del 50% en peso, y que sus partículas pasen el tamiz No. 200.
- Plasticidad y cohesión: el material que pase por el tamiz No. 40, no deberá tener un índice de plasticidad mayor de 6 % como indica AASHTO T-90, ni un límite líquido mayor que 25 % (AASHTO T-89). En casos especiales, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero no podrá ser mayor de 8 %. El equivalente de arena no puede ser menor de 25 % tal cual lo menciona AASHTO T-176.
- Base: esto se define de la siguiente manera.

Constituye la capa de material de selecto que se coloca encima de base o subrasante; esta capa permite reducir los espesores de carpeta y drenar el agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento a través de las carpetas y hombros hacia las cunetas; deberá de transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie de rodadura y debido a que está en contacto directo con la superficie de rodadura, tendrá que ser resistente a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión, producidas por el tránsito.

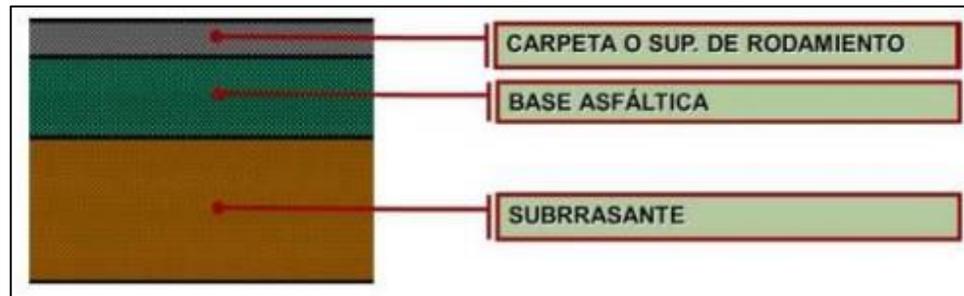
El material de base debe estar conformado de grava de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno y libre de materia vegetal, basura o terrones de arcilla. Así mismo, debe llenar los requisitos siguientes:

- Valor soporte: debe tener un C.B.R., mínimo de 90, efectuando sobre muestra saturada a 95 % de compactación (AASHTO T-180).
- Abrasión: el material que quede retenido en el tamiz No. 4, no debe tener un desgaste mayor de 50 a 500 revoluciones, en la prueba de la AASHTO T-96.
- Carpeta o superficie de rodadura: es la capa superior de la estructura de un pavimento y está constituida por concreto hidráulico o asfáltico por lo que por sus propiedades físico-mecánicas basa su capacidad portante en la losa más que en la subrasante ya que no utiliza capa de base en el caso de un pavimento rígido.

Está constituida por losas de concreto simple o reforzado, diseñada para soportar las cargas inducidas por la circulación del tránsito. En pavimento rígidos es necesario que esta capa tenga otros elementos no estructurales para proteger tanto la carpeta como las capas inferiores.²³

²³ MEDINA FAJARDO, Carlos Emilio. *Diseño de pavimento del tramo carretero de la aldea laguna seca hacia la Aldea El Durazno y diseño de las instalaciones del Instituto por Cooperativa de la Aldea Las Trojes, Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala.* p. 106 - 107.

Figura 4. **Pavimento rígido convencional**



Fuente: CAMPA CORREA, Andrea. *Manual de pavimento rígido y flexible*.
<https://www.studocu.com/ko/document/instituto-tecnologico-de-merida/pavimentos/22bf-pavimentos/12138705>. Consulta: enero de 2021.

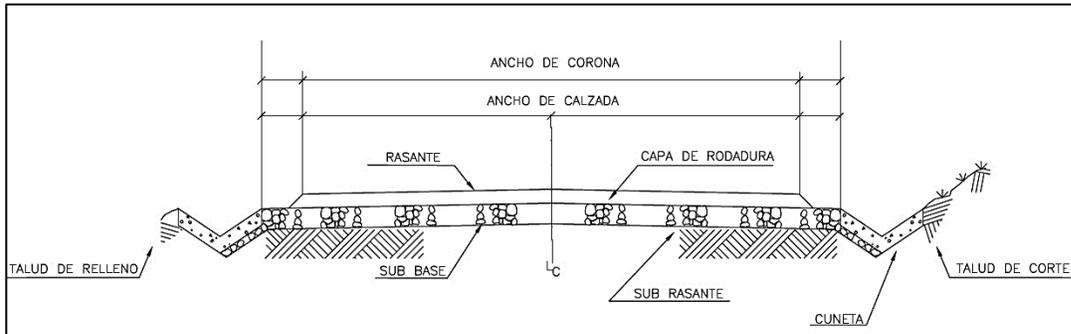
2.2.1.3. Consideraciones para el diseño

Se detallan los aspectos generales tomados en cuenta para el diseño de pavimentos.

2.2.1.3.1. Elementos geométricos del alineamiento transversal

Son aquellos cuyo objetivo es definir el perfil del terreno es dirección normal al eje del alineamiento horizontal.

Figura 5. **Sección típica de una carretera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ancho de corona: los elementos que la definen son la rasante, el ancho de calzada, pendiente transversal y los hombros. Esta superficie de la carretera se encuentra delimitada por las aristas del terreno y los interiores de la cuneta.
- Ancho de calzada: es la parte del ancho de corona, la cual está destinada a soportar las cargas de los vehículos y en ella circulan por uno o más carriles.
- Rasante: es la línea que se obtiene al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo de la corona en la parte superior del pavimento. Este elemento es importante, indica los niveles de terreno a lo largo del camino y el punto final de este.
- Hombros o espaldones: es la superficie adyacente a ambos lados de la calzada y su objetivo es conservar el pavimento, brindar protección contra la humedad y posibles erosiones en la calzada.
- Cunetas y contracunetas: son obras de drenaje que pertenecen a la sección típica. Su función es la conducción del agua de lluvia y se construyen paralelamente al eje de la carretera para drenar dichas aguas.

- Pendiente transversal: es la pendiente que se le asigna a la corona en el eje perpendicular de la carretera. Según American Association of State Highway and Transportation Officials, la relación con los hombros y el alineamiento horizontal pueden darse tres tipos:
 - Pendiente por bombeo: el objetivo es facilitar el escurrimiento superficial del agua y es la pendiente que se le asigna a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal.
 - Pendiente por peralte: se denomina peralte a la pendiente transversal que se da en las curvas a la plataforma de la calzada de una carretera, con el fin de compensar con una componente de su propio peso la inercia del vehículo. El efecto del peralte depende de varios parámetros como el peso del camión, coeficiente de curvatura del neumático y coeficiente de dirección de balanceo.
 - Pendiente por transición: es el bombeo dado para el cambio gradual de la pendiente por peralte hacia la de bombeo.²⁴

- Talud: son los planos inclinados de la terracería que forman parte de la sección típica de una carretera. Estos, determinan los volúmenes de tierra tanto en corte como en relleno.

2.2.1.3.2. Alineamiento horizontal y vertical

Son aquellos cuyo objetivo es conjugar al mismo tiempo los diseños del recorrido de la vía tanto en su longitud como elevación. El procedimiento geométrico implica el uso de tangentes y curvaturas en diversas combinaciones para establecer el trazo horizontal o alineación de la ruta, niveles y pendientes verticales para desarrollar el perfil de este en el plano vertical.

²⁴ American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets*. [https://trust.dot.state.wi.us/ftp/dtsd/bts/environment/library/PE/AASHTO-GreenBook-7th-edition\(2018\).pdf](https://trust.dot.state.wi.us/ftp/dtsd/bts/environment/library/PE/AASHTO-GreenBook-7th-edition(2018).pdf). Consulta: febrero de 2021.

- Curva horizontal

La vista en planta de una vía o carretera y su contorno se componen de segmentos de línea recta conectados por curvas. Estos deben cumplir con características tales como la facilidad de trazo, económicas en su construcción y cumplir con un diseño que se adhiera a las especificaciones técnicas solicitadas.

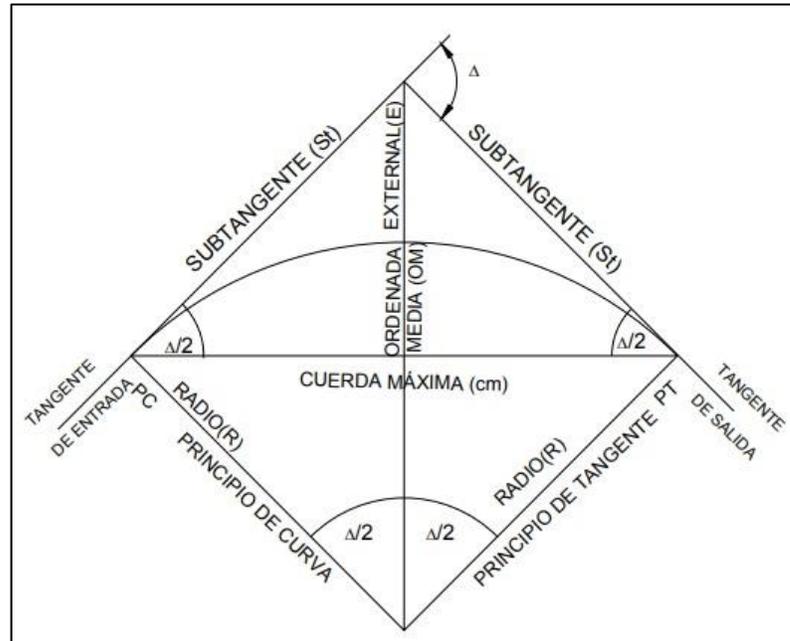
Algunos de estos aspectos técnicos según Barragán son los siguientes:

- Todo el diseño debe ir basado en el principio de seguridad y comodidad en carretera.
- Una carretera diseñada para seguir las ondulaciones de las curvas a nivel es preferible a una con tangentes, pero con repetidos cortes y rellenos ya que esto disminuye costos.
- Para una velocidad de diseño dada, debe evitarse el uso de radios mínimos en el cálculo de las curvas horizontales.
- Se debe procurar en todo lo posible, aumentar la longitud de las tangentes.
- Evitar curvas en donde se localicen puentes ya que estos deberán ubicarse preferiblemente en tangentes, en todo caso no sea así se debe ampliar la curva con un sobreaño o se diseñará el puente en curva.
- En terrenos llanos es conveniente evitar el diseño de tangentes demasiado largas, ya que la atención del conductor se pierde y pueden provocar accidentes.
- Chequear en cada cálculo la longitud de la tangente ya que esta no podrá ser negativa jamás, ya que indicaría que dos curvas horizontales se están traslapando.²⁵

Después de considerar los numerales anteriores y la experiencia del diseñador, se procede al cálculo de las curvas horizontales.

²⁵ BARRAGÁN GONZÁLEZ, Enrique Estuardo. *Diseño y planificación de apertura de carretera del tramo comprendido entre las aldeas de Sacuchum y San Francisco El Tablero y drenaje sanitario de Aldea Mavil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.* p. 22.

Figura 6. Elementos de la curva horizontal



Fuente: BARRAGÁN GONZÁLEZ, Enrique Estuardo. *Diseño y planificación de apertura de carretera del tramo comprendido entre las aldeas de Sacuchum y San Francisco El Tablero y drenaje sanitario de Aldea Mavil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.* p. 23.

Al punto donde se inicia la curva se le conoce como principio de curva (PC), y al punto donde finaliza se le conoce como principio de tangente (PT).

$$PC = PI - St$$

$$PT = PC + Lc$$

- Radio (R): es el radio de la curva circular y se obtiene de la siguiente expresión.

$$R = \frac{1145,9156}{G^\circ}$$

- Grado de curvatura (G): en Guatemala se define como el ángulo central que sobre una circunferencia define un arco de 20 metros de longitud.

$$\frac{G^\circ}{360^\circ} = \frac{20}{2\pi R}$$

- Longitud de curva (L_c): es la distancia, siguiendo la curva, desde el principio de curva (PC) hasta el principio de tangente (PT).

$$L_c = \frac{20\Delta}{G^\circ}$$

- Sub tangente (St): distancia entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección de rectas (PI) o entre el PI y el PT. En curvas circulares simples forman un ángulo de 90° con respecto al radio.

$$St = R \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- Cuerda máxima (CM): es la distancia en línea recta desde el PC al PT.

$$Cm = 2R * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- External (E): distancia desde el PI al punto medio de la curva.

$$E = \frac{R}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - R$$

Es importante notar que no todos los proyectos ingenieriles son trazados con curvas circulares simples y al no obtener un terreno para aplicar esas consideraciones es vital conocer otros elementos de las curvas con espirales donde se aplican criterios de diseño.

- Curva vertical

Reyes menciona que, “las curvas verticales o parabólicas se emplean normalmente para obtener una transición gradual entre líneas rasantes o subrasantes en el plano vertical, en el caso de carreteras y vías férreas”.²⁶

Las carreteras aparte de conformarse por curvas horizontales, también se componen de curvas verticales debido a que toma en cuenta el trabajo en tres dimensiones para su diseño y simplificación, es por eso que para un tramo carretero es sumamente importante la planimetría y altimetría.

El objetivo de este tipo de curvas es proporcionar a los conductores suavidad en el cambio de pendiente y debido a la facilidad de cálculo y a su gran adaptación a las condiciones de terreno la Dirección General de Caminos de la República de Guatemala suele recomendar “utilizar la curva vertical parabólica simple”.²⁷

Las especificaciones para curvas verticales están en función de la diferencia algebraica de pendientes y de la velocidad de diseño, es por eso que al momento de diseñarlas se deben considerar las longitudes de estas para evitar traslapes entre curvas y que la visibilidad sea la óptima para los usuarios.²⁸

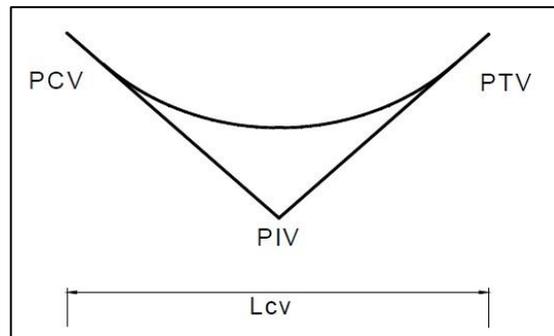
²⁶ REYES, Adolfo. *Curvas horizontales y verticales*. http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/areyes/apuntes/copy_of_CURVAS.pdf. Consulta: febrero de 2021.

²⁷ Dirección General de Caminos de la República de Guatemala. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. <http://www.covial.gob.gt/specs/LibroAzul-Sept2001.pdf>. Consulta: febrero de 2021.

²⁸ *Ibíd.*

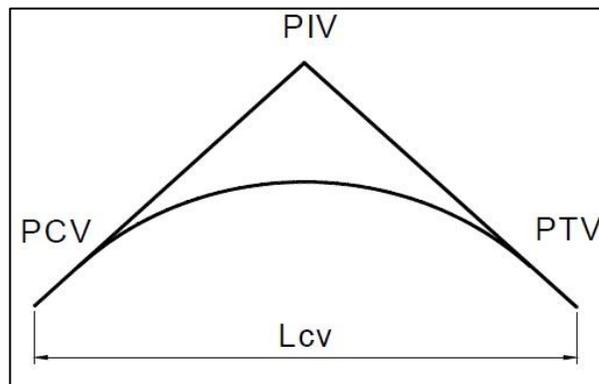
De este modo se presentan los elementos de las curvas verticales.

Figura 7. **Curva vertical cóncava**



Fuente: BARRAGÁN GONZÁLEZ, Enrique Estuardo. *Diseño y planificación de apertura de carretera del tramo comprendido entre las aldeas de Sacuchum y San Francisco El Tablero y drenaje sanitario de Aldea Mavil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.* p. 25.

Figura 8. **Curva vertical convexa**



Fuente: BARRAGÁN GONZÁLEZ, Enrique Estuardo. *Diseño y planificación de apertura de carretera del tramo comprendido entre las aldeas de Sacuchum y San Francisco El Tablero y drenaje sanitario de Aldea Mavil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.* p. 26.

Las longitudes mínimas de curvas verticales se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$L_{cv} = (K * A)$$

Donde:

L_{cv} = longitud de curva vertical

K = constante dependiente de las velocidades de diseño

A = diferencia algebraica de pendientes

Los valores de K se describen en seguida.

Tabla II. **Valores de K para curvas verticales**

| Velocidad de diseño (Km) | Valores de K en curva cóncava | Valores de K en curva convexa |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 10 | 1 | 0 |
| 20 | 2 | 1 |
| 30 | 4 | 2 |
| 40 | 6 | 4 |
| 50 | 9 | 7 |
| 60 | 12 | 12 |
| 70 | 17 | 19 |
| 80 | 23 | 29 |
| 90 | 29 | 43 |
| 100 | 36 | 60 |

Fuente: BARRAGÁN GONZÁLEZ, Enrique Estuardo. *Diseño y planificación de apertura de carretera del tramo comprendido entre las aldeas de Sacuchum y San Francisco El Tablero y drenaje sanitario de Aldea Mavil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.* p. 28.

2.2.1.3.3. Drenaje transversal

Una característica peculiar de los pavimentos es la humedad, esta reviste gran importancia sobre las propiedades de los materiales que conforman la estructura de estos. Considerar el drenaje de agua es esencial para el diseño de carreteras para evitar daño a las estructuras debido a que el agua puede penetrar espacios tales como juntas, grietas, infiltraciones del pavimento o incluso infiltraciones subterráneas de un acuífero interrumpido causando daños en la elevación del nivel freático.

En el diseño de pavimentos debe considerarse la protección contra el agua en cada una de las capas que conforman la estructura de este. Generalmente se da una considerable atención al efecto de interceptar el agua superficial y una menor atención al sellado de la superficie para evitar la infiltración de lluvia obligando la necesidad de construir algún tipo de drenaje. La elección de este debe considerar el diseño y la provisión de tres tipos de sistemas de drenaje para el control o reducción de los problemas causados por el agua, estos son:

- Subdrenajes
- Estructuras de drenaje
- Drenaje superficial

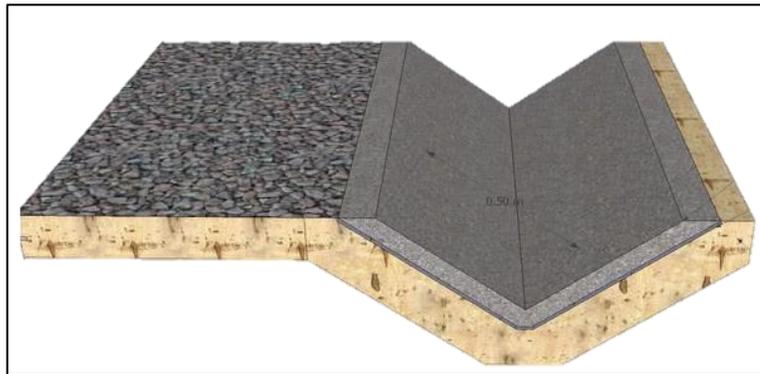
Los sistemas mencionados anteriormente, son efectivos para el desalojo de agua libre, y la mayor parte de los pavimentos existentes a nivel Centroamericano no incluyen sistemas de drenaje capaces de removerla rápidamente.

De estos sistemas, el último será el que de forma general se detallará por la relación que tiene con el trabajo de investigación. Cuando se menciona drenaje superficial, se puede pensar en obras hidráulicas como cunetas, zanjas de

coronación o contracunetas, bordillos, zanjas en pie o base de terraplenes e incluso alcantarillas. Las utilizadas en esta investigación son las cunetas y contracunetas que se describen.

- Cunetas: son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición.
- Contracunetas: son zanjas interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud de corte o en proximidades de la base del terraplén, respectivamente. El mismo autor menciona que “son utilizadas para interceptar las aguas lluvias, evitando su paso por el talud²⁹”

Figura 9. **Cunetas**



Fuente: GARGÍA, Gabriel Alejandro. *Cuneta de concreto*.

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/a0972b1422be14463eedc891a4d0f3b6/Cuneta-Concreto?hl=es>. Consulta: febrero 2021.

El objetivo de este elemento de la carretera es evitar que el agua de lluvia proveniente del área que genera el caudal que desfoga hacia la parte baja de la cuenca en el sentido perpendicular a la carretera no para por la estructura de esta. Para calcular las variables de este elemento se debe aplicará la fórmula de

²⁹ Instituto Nacional de Vías, INVIAS. *Manual de drenaje para carreteras*. p. 4-29.

Kippich para el tiempo de concentración (t), y el método racional para el cálculo del caudal (Q). Estos resultados podrán observarse en el capítulo de resultados.

2.2.1.4. Factores de diseño

- Selección y reconocimiento de la ruta

Ochoa menciona que: La selección de ruta es un proceso que involucra varias actividades, desde el acopio de datos, examen y análisis de estos, hasta los levantamientos terrestres necesarios para determinar a este nivel los costos y ventajas de las diferentes rutas para elegir la más conveniente. Esta es una de las fases más importantes en el estudio de una carretera.³⁰

Para esto deben evaluarse temas socioeconómicos, realizarse estudios topográficos, sondeos, reconocimientos geológicos e hidrológicos para que la ubicación del camino cuente con los factores económicos y constructivos adecuados, y que posea buena apariencia en los alrededores, de tal manera que su desarrollo se sienta lógico y natural dentro de la topografía y el paisaje.

- Módulo de ruptura de concreto (MR)

Cuando un pavimento de concreto se somete a cargas, la flexión que ocurre puede presentar esfuerzos de tensión como de compresión. La relación de esfuerzos de resistencia a la compresión es tan pequeña que no influye en el diseño del espesor de la losa como lo hacen los esfuerzos y las fuerzas de flexión.

La fuerza de flexión está definida como el máximo esfuerzo de tensión en la fibra extrema de una viga de concreto y se determina por medio del módulo de ruptura del concreto.

³⁰ RODRÍGUEZ OCHOA, Rogelio. *Proyecto geométrico del camino ramal a San Javier, Sonora*. <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=5440>. Consulta: febrero de 2021.

- Módulo de reacción del suelo (K)

Este módulo proporciona la característica de resistencia que implica la elasticidad del suelo. Se dice que es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre la deformación correspondiente, producida por dicho esfuerzo. Esta propiedad del suelo es muy importante en el diseño de pavimentos, pero debido a que la prueba de carga de plato es tardada y cara el valor de K es usualmente estimado por correlación a una prueba simple.

- Tránsito y cargas de diseño

El tránsito y los pesos por eje pesados son variables de un pavimento de concreto. Estos se derivan del tránsito promedio diario (TPD) y el tránsito promedio diario de camiones (TPDC).

El tránsito futuro tiene gran influencia en el diseño debido a que su crecimiento anual varía entre el 2 % al 6 % correspondiendo a factores de proyección de tránsito a 20 años de 1,2 a 1,8. Pero el uso de razones altas de crecimiento para residenciales no es aplicable, estas calles contienen poco tránsito, y las tasas de crecimiento están debajo del 2 % por año con un factor de proyección de 1,1 a 1,2.

Tabla III. **Porcentaje anual de crecimiento de tráfico y factores de proyección**

| Porcentaje anual de crecimiento de tráfico | Factor de proyección a 20 años | Factor de proyección a 40 años |
|--|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 1,1 | 1,2 |
| 1 ½ | 1,2 | 1,3 |
| 2 | 1,2 | 1,5 |
| 2 ½ | 1,3 | 1,6 |
| 3 | 1,3 | 1,8 |
| 3 ½ | 1,4 | 2,0 |
| 4 | 1,5 | 2,2 |
| 4 ½ | 1,6 | 2,4 |
| 5 | 1,6 | 2,7 |
| 5 ½ | 1,7 | 2,9 |
| 6 | 1,8 | 3,2 |

Fuente: WESTERGAARD, Harold. *Computation of stresses in concrete roads*. p. 18.

- Tipos de juntas

El objetivo de una junta es permitir la construcción del pavimento por losas separadas para evitar grietas de construcción, estableciendo al mismo tiempo una unión adecuada entre ellas que asegure la continuidad de la capa de rodadura y la adecuada conservación del pavimento.

Un pavimento puede agrietarse debido a las condiciones de cambio de volumen por secado o encogimiento, esfuerzos directos por cargas aplicadas y esfuerzos de flexión por pandeo.

Las juntas que normalmente se utilizan en los pavimentos de concreto se clasifican en dos, las transversales y longitudinales que a su vez se clasifican como de contracción, construcción y expansión. Se describirán algunas.

- Juntas longitudinales: éstas se colocan paralelamente al eje longitudinal del pavimento para prevenir la formación de las grietas longitudinales. Pueden ser en forma mecánica o unión macho-hembra. La profundidad de la ranura superior de esta junta no debe ser inferior de un cuarto del espesor de la losa. La separación máxima entre este tipo de juntas de 3,81 metros y es la que determina el ancho que tendrá el carril.
- Juntas transversales: estas buscan controlar las grietas causadas por la retracción del secado del concreto. Este tipo de juntas deberán incluir una ranura que tenga como mínimo una profundidad de un cuarto del espesor de la losa y construirse perpendicularmente al tráfico. A estas se les conoce también como juntas de contracción, controlan el agrietamiento transversal que produce la contracción del concreto. Deberán estar separadas a una distancia no mayor de 4,57 metros.
- Juntas de expansión: son vitales cuando existen estructuras fijas como puentes, aceras, alcantarillas, entre otros. Su función es disminuir las tensiones cuando el concreto se expanda. Es obligatoria su colocación frente a estructuras existentes y en intersecciones regulares. Cuando las juntas de contracción controlan adecuadamente el agrietamiento transversal las juntas de expansión dejan de ser necesarias.
- Juntas de construcción: son necesarias cuando hay una interrupción no mayor de treinta minutos en la colocación del concreto. Son de tipo trabado, debido a que conllevan barras de acero, normalmente, que forman tabiques y cara vertical con una traba apropiada.

2.2.2. Estacionamiento

Un estacionamiento es un espacio físico donde se deja el vehículo por un tiempo indeterminado cualquiera. Para llevar a cabo el diseño de este es importante tomar algunos aspectos como los siguientes:

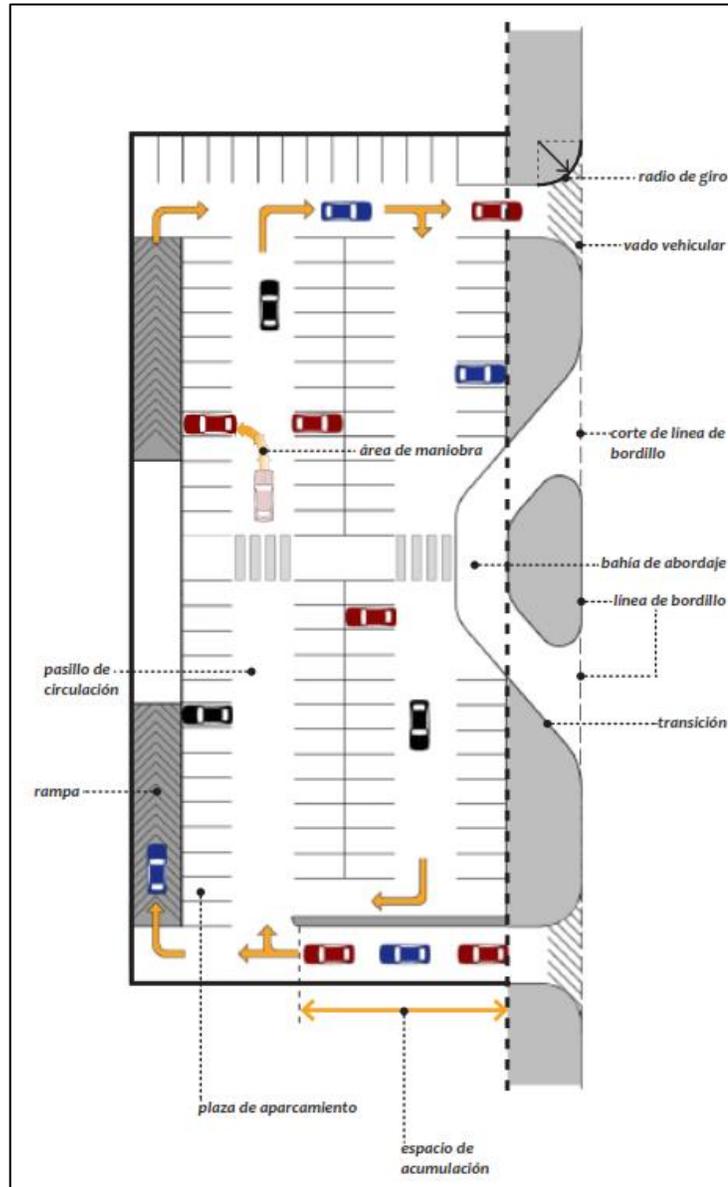
2.2.2.1. Componentes

Los componentes más importantes de un aparcamiento son los siguientes según Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Guatemala:

- Área de maniobra: espacio de determinada longitud necesaria para efectuar las maniobras de giro que le permitan a un vehículo entrar y salir de una plaza de aparcamiento.
- Corte de línea de bordillo: es la acción de generar un nuevo acceso o egreso vehicular desde el límite de propiedad hasta la línea de bordillo.
- Espacio de acumulación: prolongación de la entrada dentro del espacio no vial que tiene como fin la espera breve de vehículos ingresando a un estacionamiento.
- Línea de bordillo: línea real o virtual que divide el espacio vehicular del no vehicular, exista o no bordillo.
- Plaza de aparcamiento: área necesaria para contener inmovilizado un vehículo.
- Radio de giro: distancia mínima en la cual un vehículo puede girar, determinando así el área necesaria para realizar dicho movimiento.
- Rampa: superficie con una pendiente mayor o igual al cuatro por ciento.
- Transición: ensanchamiento de la vía a partir de la línea de bordillo con respecto a la trayectoria natural de circulación.
- Vado vehicular: extensión de una entrada o una salida a lo largo del espacio no vehicular para conectar entre sí el espacio vehicular con el espacio no vial.
- Bahía de abordaje: espacio destinado a actividades de abordaje o desabordaje de pasajeros o a la carga y descarga de objetos durante las cuales los vehículos permanecen inmovilizados momentáneamente.
- Pasillo de circulación: espacios de circulación vehicular interna que sirven para entrar y salir de un estacionamiento, así como para maniobrar un vehículo al acceder a una plaza de aparcamiento.³¹

³¹ Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Guatemala. *Guía de aplicación dotación y diseño de estacionamientos*. p. 1-3.

Figura 10. Componentes de un estacionamiento



Fuente: Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Guatemala. *Guía de aplicación dotación y diseño de estacionamientos*. p. 1-3.

2.2.3. Laguna de estabilización

Una laguna facultativa es una cuenca usualmente excavada en la tierra e impermeabilizada, con el objetivo de dar tratamiento a las aguas residuales. Este tipo de laguna de estabilización se identifica por poseer tres zonas bien definidas son:

- Zona superficial: lugar en donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias.
- Zona del fondo: zona de carácter anaerobio en donde los sólidos se acumulan y son descompuestos fermentativamente.
- Zona intermedia: zona parcialmente aerobia y anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas.

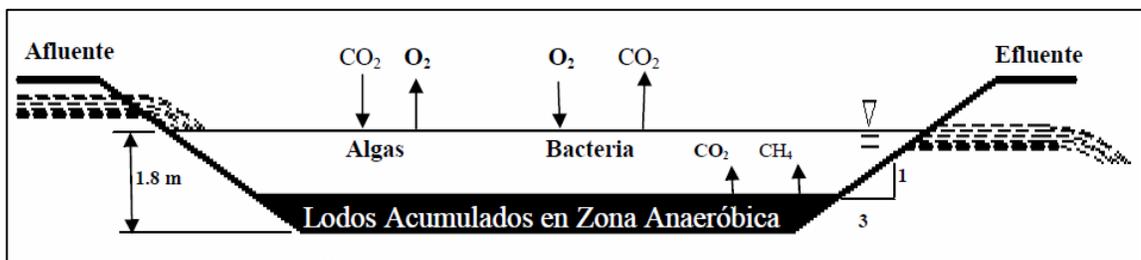
El objetivo de las lagunas facultativas según Oakley y Salguero, “es remover la demanda biológica de oxígeno bajo condiciones aeróbicas aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y la bacteria”.³² Aunque la laguna contribuye también a la remoción de patógenos a través del período largo de retención hidráulica típico en el diseño que permite la sedimentación de huevos de helmintos y la mortalidad de bacteria causado por el tiempo de retención hidráulica.

Para su diseño, se debe considerar la carga orgánica máxima superficial, el área requerida con un factor de seguridad y el tiempo de retención hidráulica.

³² OAKLEY, Stewart; SALGUERO, Louis. *Tratamiento de aguas residuales domésticas en Centroamérica. Un manual de experiencias, diseño, operación y sostenibilidad.* <https://docplayer.es/15858668-Tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-en-centroamerica-un-manual-de-experiencias-diseno-operacion-y-sostenibilidad.html>. Consulta: abril de 2021.

En la planta piloto ubicada en la zona 13, se realizará el movimiento de tierras para las dos lagunas facultativas existentes y la propuesta del material de recubrimiento para que la capacidad de servicio o vida útil sea más prolongada que la existente hoy día.

Figura 11. Diagrama de laguna facultativa



Fuente: OAKLEY, Stewart; SALGUERO, Louis. *Tratamiento de aguas residuales domésticas en Centroamérica. Un manual de experiencias, diseño, operación y sostenibilidad.*

<https://docplayer.es/15858668-Tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-en-centroamerica-un-manual-de-experiencias-diseno-operacion-y-sostenibilidad.html>. Consulta: abril de 2021.

2.2.3.1. Mantenimiento

El mantenimiento rutinario de la instalación de las lagunas debe ser lo primordial para el operador sino la planta es posible que se deteriore y brinde resultados no deseados, y se debe contemplar el cuidado de los siguientes aspectos:

- Rejillas
- Desarenadores
- Remoción de natas y sólidos flotantes
- Céspedes, vegetación y malezas
- Mosquitos, moscas, roedores y otros animales

- Taludes
- Cercos y caminos
- Implementos y herramientas de mantenimiento

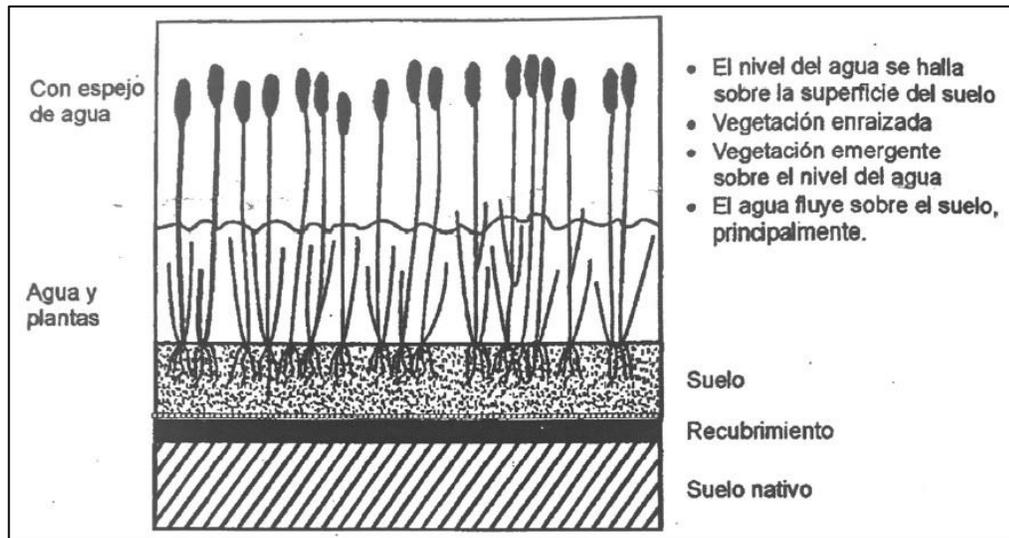
2.2.4. Humedal

Los humedales artificiales son de superficie libre de agua, es decir, con espejo de agua; o de flujo subsuperficial sin espejo de agua. Los humedales artificiales se han utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario y avanzado, en el tratamiento de aguas de irrigación, para tratar lixiviados de rellenos sanitarios, en el tratamiento de residuos de tanques sépticos y para otros propósitos como desarrollar hábitats para crecimiento de valor ambiental.³³

Es decir, un humedal artificial al igual que uno natural posee un gran potencial depurador para el tratamiento de aguas residuales. Los humedales ubicados en la zona 13 son artificiales y de flujo superficial y estos se caracterizan por tener el agua expuesta a la atmósfera, con vegetación desde un punto de entrada hasta uno de descarga.

³³ ROMERO ROJAS, Jairo. *Calidad del agua. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. p. 893.

Figura 12. **Humedal artificial de flujo superficial**



Fuente: United States Environmental Protection Agency, EPA. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf. Consulta: abril de 2021.

En la planta piloto ubicada en la zona 13, se realizará la propuesta del material de recubrimiento para que la capacidad de servicio o vida útil sea más prolongada que la existente hoy día en los dos humedales, de tul y vetiver.

2.2.4.1. Mantenimiento

Los requisitos de mantenimiento rutinarios son similares a los de una laguna facultativa:

Estos incluyen el control hidráulico y de profundidad del agua, la limpieza de las estructuras de entrada y descarga, el corte de la hierba en bermas, la inspección de

la integridad de estas, el manejo de la vegetación del humedal, control de mosquitos y vectores de enfermedades y monitoreo rutinario.³⁴

³⁴ United States Environmental Protection Agency, EPA. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf. Consulta: abril de 2021.

3. DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS

El trabajo de investigación, como se mencionó en el primer capítulo, se centra en la zona 13 capitalina, específicamente en la planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa ubicada en la diagonal 26 final, 20-56 de la colonia militar Aurora II.

Esta planta cuenta con una topografía irregular con pendiente negativa provocando en el ingreso erosión hídrica por un caudal de agua pluvial no controlada y en su perímetro el terreno sufre un desnivel brusco debido a las aguas servidas de las viviendas aledañas teniendo foco de contaminación por el río de aguas negras.

El suelo del área en estudio tiene la clasificación de la normativa American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de A - 7 - 6 (11) y A - 1 - b (0), es decir cuenta con arcilla café a una profundidad de 0 a 16 pies y arena pómez beige a una profundidad de 16 a 20 pies, respectivamente. El objetivo de esta planta experimental piloto es brindar el tratamiento adecuado a las aguas residuales de la colonia Aurora II y permitir a los estudiantes y docentes realizar estudios de las unidades presentes o investigaciones sobre otros sistemas aplicables a Guatemala y Centro América.

Algunos de los usuarios que más frecuentan este lugar son:

- Guardián: quien se encarga del funcionamiento y operación de la planta, y del cuidado de la propiedad las 24 horas del día. Este radica en un espacio de la propiedad.

- Catedráticos y estudiantes: provenientes de ERIS y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, quienes frecuentan las instalaciones aproximadamente dos veces al mes en vehículos particulares tipo Sedan, Camiones de 2 Tn, *Pick up*, entre otros, los cuales muchas veces son parqueados en las afueras de la planta por no tener un área adecuada para dicha función.
- Entidades gubernamentales, no gubernamentales y privadas: quienes se presentan aproximadamente 1 vez cada 3 meses.

La planta cuenta con seis sistemas principales de tratamiento, pero, existen algunas unidades que requieren mayor atención para el buen funcionamiento, y se describirá el estado de estas.

3.1. Unidades

Se describirán las unidades afectadas dentro de las instalaciones de la planta.

3.1.1. Ingreso a la planta piloto

El estado de conservación del ingreso principal de la planta piloto, independientemente de su antigüedad, es regular debido a la humedad tan pronunciada existente en las paredes, el desgaste del portón y el mal estado del tragante. Cabe mencionar que este es un lugar frecuentado por profesionales y estudiantes, quienes han extraído en algunas ocasiones muestras para estudio por lo que es necesario que esté debidamente identificado y estéticamente presentable.

Figura 13. **Entrada a la planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Es importante que al tener la planta una pendiente más baja con respecto a las viviendas de la colonia, a la hora de existir precipitación el punto común recae en la planta, viéndose más afectada por las inclemencias del clima.

Figura 14. **Vista del camino de acceso a la planta desde la entrada**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

También, el portón principal metálico se encuentra expuesto continuamente a fenómenos, como el aire, el sol y la humedad, que lentamente van deteriorando progresivamente el estado de este ocasionando el óxido férrico el cual se presenta como manchas color marrón según se puede observar en las ilustraciones siguientes. Es importante reconocer que si existiera un adecuado mantenimiento de las instalaciones no se tendrían estos problemas.

Figura 15. Vista al portón de entrada desde dentro



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

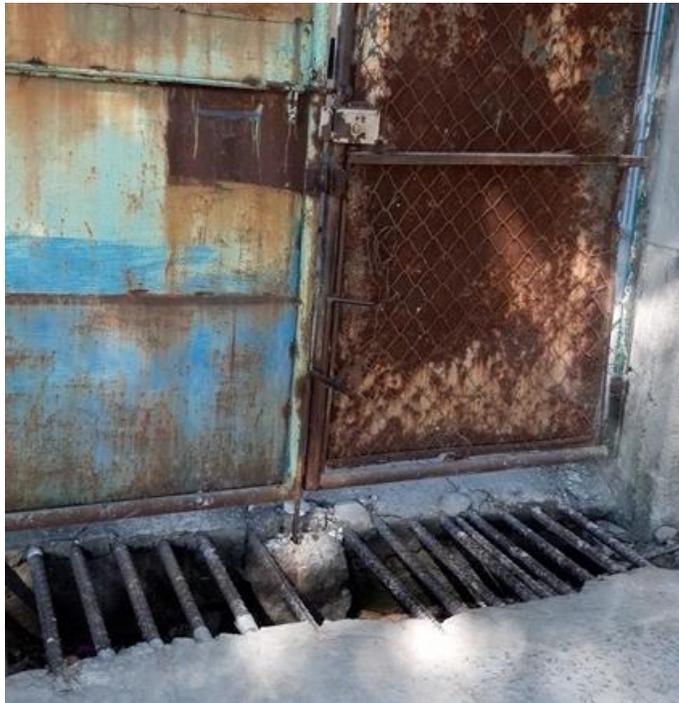
Figura 16. Estado del portón de entrada a la planta piloto



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Asimismo, el espacio que simula un tragante en la entrada está en mal estado debido al desgaste, corrosión del concreto y el acero, respectivamente. También, este se encuentra normalmente obstruido por basura en su interior y es incapaz de trasegar el volumen de agua al drenaje pluvial provisorio dentro de la planta.

Figura 17. **Tragante ubicado en la entrada**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 18. **Estado del tragante**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

3.1.2. Camino de ingreso de la planta piloto

Seguido de la entrada principal se encuentra el camino de acceso a las instalaciones de la planta. Este es de terracería y presenta ciertas ondulaciones y baches a lo largo, tal y como se muestra en las siguientes ilustraciones.

Figura 19. **Camino de acceso dentro de la planta**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 20. Estado del camino de acceso



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 21. **Condición del camino de terracería**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

El camino de terracería en algunas partes se ve más afectado debido a las lluvias y a la acumulación de agua en la parte superior de esta por la falta de drenaje pluvial. Al no tener mantenimiento la poca carga que soporta el suelo debido a los vehículos que ingresan o egresan representan daño para las partes más débiles del terreno.

Figura 22. **Camino por pavimentar**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Es importante mencionar que, dentro de la planta no hay áreas definidas y a lo largo del camino de acceso se encuentra chatarra, ripio, entre otros, causando la mala viabilidad dentro del lugar, el ancho del camino permite un solo carril sin sistemas de drenaje.

Figura 23. **Elementos que evitan el uso total del camino**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 24. **Ripio en el acceso a la planta**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

3.1.3. Drenaje pluvial

En el área de ingreso el camino de acceso cuenta con una cuneta improvisada, pero, el resto del camino no. Aún con la existencia de esta no trabaja como debiera ser debido a que no está diseñada para trasegar el caudal de agua que pasa por esta zona. El agua no llega a un cauce o no tiene un punto de reunión en donde pudiera ser reutilizada en actividades dentro de la planta, por ejemplo, el riego.

Figura 25. Cuneta en mal estado



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Esta cuneta se encuentra solo de un lado, y es necesario que exista una contracuneta en el otro extremo porque en la parte de abajo se encuentran las lagunas de estabilización facultativas y según han comentado algunas personas ya se han inundado estas obras hidráulicas.

También, la cuneta improvisada está hecha por una parte por cemento y la otra por tablas, y es deficiente el trabajo que estas puedan realizar con respecto a la demanda de agua existente.

Figura 26. **Cuneta en el camino de acceso**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Como se puede observar en la siguiente figura, hay partes en las que la cuneta no es continua y ahí es donde sucede la acumulación de agua en la superficie del camino.

Figura 27. **Condición de la cuneta**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Es importante saber que aparte del agua de lluvia que ingresa a la planta, la de viviendas colindantes también lo hacen, las casas vecinas a la planta tienen drenaje pluvial y expulsan el agua ahí adentro.

Figura 28. **Agua de lluvia proveniente de la colonia hacia la planta**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

La planta como se mencionó con anterioridad no cuenta con puntos específicos para reunir el agua de lluvia, y esta se expulsa a un costado del camino pudiendo causar más adelante asentamientos o erosión.

Figura 29. **Cauce de las aguas de lluvia**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

3.1.4. Lagunas de estabilización facultativas

En la planta piloto hay dos lagunas facultativas que básicamente son cuencas que están excavadas en la tierra e impermeabilizadas con el fin de dar tratamiento a las aguas residuales.

Figura 30. **Vista de las lagunas de estabilización facultativas**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

A estas no se les ha dado mantenimiento ni se les ha brindado del material impermeabilizante adecuado para evitar que el agua residual que estas contengan se filtre a través del suelo causando contaminación de las aguas subterráneas y la suspensión del tratamiento para lo cual están construidas.

Figura 31. **Estado del material de recubrimiento**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

El talud que las rodea sufre de intemperismo y es vital una estabilización en esa parte. Es necesario evaluar los árboles cercanos porque algunos por sus raíces muy grandes pueden causar asentamiento en la zona y perjudicar el tratamiento de las aguas residuales en las lagunas.

Figura 32. **Condición del talud colindante a las lagunas**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 33. **Desgaste del suelo del talud**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

3.1.5. Humedal

Uno de los aspectos más importantes por tener en cuenta para la construcción y mantenimiento de humedales es básicamente la impermeabilización de la capa subsuperficial de terreno. Elemento que el humedal de tul de la planta no cumple causando así, que el agua residual contamine el subsuelo o el agua subterránea y suspenda su objetivo de limpiar el agua, mitigar el calentamiento global al capturar el carbono de la atmósfera y producir energía renovable sin necesidad del uso de combustibles fósiles.

Figura 34. **Estado actual del humedal de tul**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 35. **Falta de mantenimiento en el humedal de tul**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

3.1.6. Área de parqueo

El camino de acceso conduce desde la entrada a este espacio el cual se piensa como área de estacionamiento. En esta parte, el terreno es plano y no hay muchas complicaciones más que la chatarra que se ubica a los lados de esta.

Figura 36. **Espacio destinado para estacionamiento**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 37. **Área de parqueo**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 38. **Chatarra a los lados del área de estacionamiento**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

3.2. **Otros**

La planta piloto presenta muchas deficiencias, tanto que las unidades descritas con anterioridad no lo cubren, algunas de estas son:

- Luz eléctrica: el área que habita el guardián es la única que posee
- Seguridad: el guardián es la persona que se encarga de esto, pero, el lugar es tan grande que no se garantiza que el lugar y quienes lo habitan estén a salvo.
- Señalización en el camino de acceso e instalaciones de la planta.
- Delimitación de las áreas internas existentes.
- Áreas de descanso para peatones y vehículos.
- Limpieza y mantenimiento en toda la planta piloto.

- Mantenimiento en unidades dentro de la planta como el tanque del biodigestor, los accesorios de algunas tuberías, entre otros.
- Garita al ingreso.

Figura 39. **Salida de agua por accesorios en la tubería**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

Figura 40. **Biodigestor en mal estado**



Fuente: Planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa. Zona 13, Guatemala, Guatemala.

4. DESARROLLO DE PROYECTOS

En este capítulo, se darán las propuestas para cada uno de los problemas presentados en el capítulo anterior. Es importante mencionar que para realizar dichas propuestas fue necesario en su mayoría asumir valores, porque por la condición actual mundial se complicó trabajar con datos netamente del lugar.

4.1. Topografías, estudio de suelos y propuestas

Para las propuestas que se presentan, era necesario realizar un estudio de suelos y un levantamiento topográfico de la planta piloto, aunque la topografía se efectuó, los ensayos de suelos no fueron posibles realizarlos, más se tomaron parámetros críticos. Para la primera, se logró conseguir un teodolito, una plomada, un estadal y una cinta métrica, pero, por lo extenso del lugar se optó por usar la aplicación *Mobile Topographer* y se solicitó al Instituto Geográfico Nacional (IGN), las curvas de nivel para trabajarlo en el programa Civil 3D. Basados en lo mencionado se obtuvo lo siguiente:

Tabla IV. **Datos topográficos del tramo de acceso**

| Pavimento | | | | |
|------------------|-----------------|------------------|----------------------|--------------------|
| Puntos | Este (m) | Norte (m) | Elevación (m) | Descripción |
| 1 | 496 122,51 | 1 612 042,89 | 1 474,06 | Inicio |
| 2 | 496 121,38 | 1 612 042,40 | 1 469,13 | Camino |
| 3 | 496 116,78 | 1 612 043,25 | 1 461,67 | Camino |
| 4 | 496 105,08 | 1 612 049,31 | 1 461,35 | Camino |
| 5 | 496 102,83 | 1 612 051,81 | 1 464,87 | Camino |
| 6 | 496 094,39 | 1 612 059,52 | 1 462,33 | Camino |
| 7 | 496 086,06 | 1 612 062,04 | 1 466,84 | Camino |
| 8 | 496 082,66 | 1 612 061,97 | 1 454,44 | Camino |
| 9 | 496 072,55 | 1 612 055,44 | 1 446,90 | Camino |
| 10 | 496 065,60 | 1 612 050,76 | 1 456,38 | Camino |
| 11 | 496 040,63 | 1 612 046,34 | 1 451,56 | Camino |
| 12 | 496 035,55 | 1 612 045,70 | 1 452,80 | Camino |
| 13 | 496 023,86 | 1 612 019,81 | 1 448,92 | Camino |
| 14 | 496 007,67 | 1 611 988,39 | 1 446,96 | Camino |
| 15 | 495 996,51 | 1 611 958,15 | 1 449,89 | Camino |
| 16 | 495 883,95 | 1 611 954,94 | 1 446,63 | Camino |
| 17 | 495 998,09 | 1 611 950,54 | 1 444,69 | Final |

Fuente: elaboración propia, empleando Mobile Topographer versión 9.3.2.

Tabla V. **Datos topográficos del área de parqueo**

| Parqueo | | | |
|----------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Puntos | Este (m) | Norte (m) | Elevación (m) |
| 1 | 765 360,5970 | 1 613 064,299 | 1 447,970 |
| 2 | 765 345,7560 | 1 613 023,368 | 1 451,010 |
| 3 | 765 374,8240 | 1 613 010,463 | 1 447,840 |
| 4 | 765 392,0610 | 1 613 051,751 | 1 449,880 |

Fuente: elaboración propia, empleando Mobile Topographer versión 9.3.2.

Tabla VI. **Datos topográficos de laguna de estabilización facultativa 1**

| Laguna de estabilización facultativa 1 | | | |
|---|-----------------|------------------|----------------------|
| Puntos | Este (m) | Norte (m) | Elevación (m) |
| 1 | 496 075,76 | 1 612 016,78 | 1 446,87 |
| 2 | 496 117,32 | 1 612 000,21 | 1 447,68 |
| 3 | 496 120,27 | 1 612 010,99 | 1 447,87 |
| 4 | 496 078,92 | 1 612 028,48 | 1 448,87 |

Fuente: elaboración propia, empleando Mobile Topographer versión 9.3.2.

Tabla VII. **Datos topográficos de laguna de estabilización facultativa 2**

| Laguna de estabilización facultativa 2 | | | |
|---|-----------------|------------------|----------------------|
| Puntos | Este (m) | Norte (m) | Elevación (m) |
| 1 | 496 064,9679 | 1 612 003,047 | 1 448,190 |
| 2 | 496 109,0763 | 1 611 984,160 | 1 449,960 |
| 3 | 496 113,5710 | 1 611 996,115 | 1 449,870 |

Continuación de la tabla VII.

| | | | |
|----------|--------------|---------------|-----------|
| 4 | 496 072,2623 | 1 612 011,673 | 1 449,870 |
|----------|--------------|---------------|-----------|

Fuente: elaboración propia, empleando Mobile Topographer versión 9.3.2.

4.2. Pavimento del acceso a la planta Ing. Arturo Pazos Sosa

Para la propuesta de la pavimentación en el acceso a la Planta Piloto, se pensó en un pavimento rígido porque además de sus ventajas descritas en el capítulo 2, el lugar del proyecto está pensado para establecer la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos con edificios de clases y laboratorios, si se pensaba en utilizar un tipo de pavimento, pensando en el tipo de tráfico, la carga y más que eso el tiempo de su vida útil resultaba mejor esta propuesta. Aunque cabe recalcar que económicamente el costo era mayor pero el beneficio también.

Por eso, para el cálculo del espesor del pavimento se pensó en el Método AASHTO 93, que es uno de los métodos más utilizados y de mayor satisfacción a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos. Para el cálculo de este pueden utilizarse nomogramas o bien la ecuación básica de diseño a la que llegó AASHTO. Se presenta la ecuación general utilizada para determinar el espesor estructural.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_O + 7,35 * \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32 * P_t) * \log_{10} \left[\frac{S'_c * C_d * (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 * J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0,25}} \right]} \right]$$

Donde:

W_{18} = tráfico (número de *ESAL*'s).

Z_R = desviación estándar normal.

S_o = error estándar combinado de la predicción del tráfico.

D = espesor de la losa del pavimento en pulgadas.

ΔPSI = diferencia de serviciabilidad ($P_o - P_t$).

S'_c = módulo de rotura del concreto en psi.

J = coeficiente de transferencia de carga.

C_d = coeficiente de drenaje.

E_c = módulo de elasticidad de concreto.

k = módulo de reacción de la subrasante en psi.

4.2.1. Variables de diseño

Para sustituir los valores en la ecuación general, el método indica que es necesario conocer algunos aspectos y determinarlos para efectuar el cálculo. Estos son:

- Factor de crecimiento del tráfico (r): el factor de crecimiento del tráfico es un parámetro que considera en el diseño de pavimentos, los años de período de diseño más un número de años adicionales debidos al crecimiento propio de la vía.

Tabla VIII. **Factor de crecimiento del tráfico**

| Caso | Tasa de crecimiento |
|------------------------------|----------------------------|
| Crecimiento normal | 1 % al 3 % |
| Vías completamente saturadas | 0 % al 1 % |
| Con tráfico inducido | 4 % al 5 % |
| Alto crecimiento | Mayor al 5 % |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Este suele utilizarse para el cálculo de los *ESAL's* y en este caso por la ubicación de la planta y su fluencia vehicular se opta por un crecimiento normal de 1 %.

- Período de diseño (P_d): el presente trabajo considera un período de diseño de 20 años. (Es el mínimo recomendable por AASHTO).

$$P_d = 20 \text{ años}$$

- Factor de sentido (F_s): del total del tráfico que se estima para el diseño del pavimento deberá determinarse el correspondiente a cada sentido de circulación.

Tabla IX. **Factor de sentido**

| Circulación | Factor |
|--------------------|---------------|
| Un sentido | 1,00 |
| Doble sentido | 0,50 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Para este proyecto se considerará un factor de 1,00 y la circulación será únicamente en un sentido debido al estrecho espacio que brinda el lugar para el pavimento.

- Factor de carril (Fc): es un coeficiente que permite estimar que tanto el tráfico circula por el carril de diseño.

Tabla X. **Factor de carril**

| No. Carril | Factor carril |
|------------|---------------|
| 1 | 1,00 |
| 2 | 0,80 a 1,00 |
| 3 | 0,60 a 0,80 |
| 4 | 0,50 a 0,75 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Para este proyecto se considerará un factor carril de 1,00 y debido al espacio este solo admite un solo carril.

- Tráfico (W_{18}): el método AASHTO diseña los pavimentos de concreto por fatiga. La fatiga se entiende como el número de repeticiones o ciclos de carga que actúan sobre un elemento determinado. Al establecer una vida útil de diseño, en realidad lo que se está haciendo es tratar de estimar, en un período de tiempo, el número de repeticiones de carga a las que se stará sometiendo el pavimento. La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años, en la que se contempla el crecimiento del tráfico durante su vida útil, que depende del desarrollo socio-económico de la zona.

$$ESAL's = TPD * A * B * 365 * \frac{(1 + r)^n - 1}{Ln(1 + r)} * FC$$

- Confiabilidad (R): la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación.

Tabla XI. **Confiabilidad según su función**

| Tipo de pavimento | Confiabilidad R |
|--------------------------|------------------------|
| Autopista | 95 % |
| Carretera | 80 % |
| Rurales | 70 % |
| Zonas industriales | 65 % |
| Urbanas principales | 60 % |
| Urbanas secundarias | 50 % |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Se toma un tipo de pavimento para zonas urbanas secundarias, por ende, una confiabilidad del 50 %.

- Desviación estándar (Zr): se determina en función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Tabla XII. **Desviación estándar**

| Confiabilidad R (%) | Desviación estándar Zr |
|----------------------------|-------------------------------|
| 50 | 0,000 |
| 60 | -0,253 |
| 70 | -0,524 |
| 75 | -0,674 |
| 80 | -0,841 |
| 85 | -1,037 |
| 90 | -1,282 |
| 91 | -1,340 |
| 92 | -1,405 |
| 93 | -1,476 |
| 94 | -1,555 |
| 95 | -1,645 |
| 96 | -1,751 |
| 97 | -1,881 |
| 98 | -2,054 |
| 99 | -2,327 |
| 99,9 | -3,090 |
| 99,99 | -3,750 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

La confiabilidad del pavimento tendrá un 50 %, deduciendo de la tabla el valor sería de 0,000.

- Error estándar combinado (S_o): este parámetro representa la desviación estándar conjunta que engloba, por una parte, la desviación estándar de

la ley de predicción del tráfico en el periodo de proyecto, y por otra desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir del número de ejes que puede soportar el firme hasta que el índice de servicio descienda por debajo de un determinado valor Pt.

Tabla XIII. **Error estándar combinado**

| | |
|-------------------------|-------------|
| Para pavimentos rígidos | 0,30 – 0,40 |
| Construcción nueva | 0,35 |
| Sobre capas | 0,40 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

En este caso por ser pavimento rígido, el valor oscila entre los 0,30 – 0,40, la propuesta del pavimento es nueva, y el valor que se tomará será el de 0,35.

- **Serviciabilidad (Δ PSI):** la serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía. La medida primaria de a serviciabilidad es el índice de serviciabilidad presente. El procedimiento de diseño AASHTO predice el porcentaje de pérdida de serviciabilidad (Δ PSI), para varios niveles de tráfico y cargas de ejes.

Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que pued llegar el mismo, se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2,5 y para vías menos importantes sea de 2,0; para el valor del índice de serviciabilidad inicial la AASHTO llegó a un valor de 4,5 para pavimentos de concreto y 4,2 para pavimentos de asfalto.

- **Serviciabilidad Inicial (P_o):** es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Por tanto, se tomará un valor de 4,5.
- **Serviciabilidad final (P_t):** este término tiene que ver con la calificación que se espera tenga el pavimento al final de su vida útil. En este caso, por estar la planta ubicada en una vía no tan importante se tomará el valor de 2,0.

Entonces, el valor de serviciabilidad se representa de la siguiente manera:

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4,5 - 2,00 = 2,50$$

- **Propiedades del concreto ($f'c$):** debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera a la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión ($S'c$) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días. Según el ACI, la resistencia a la flexión para un concreto de peso normal está entre los valores de 1,99 – 2,65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Tabla XIV. **Determinación del MR**

| Tipo de pavimento | MR recomendado | |
|---------------------|--------------------|-------|
| | Kg/cm ² | PSI |
| Autopistas | 48 | 682,7 |
| Carreteras | 48 | 682,7 |
| Zonas industriales | 45 | 640,1 |
| Urbanas principales | 45 | 640,1 |
| Urbanas secundarias | 42 | 597,4 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Se toma el valor para la resistencia a la compresión del concreto de 42 kg/cm², es decir, un 597,4 PSI de S'c, teniendo entonces con la ecuación $MR = 0,14f'c = 5,88 \text{ kg/cm}^2$ o bien 83,63 lb/in².

- Coeficiente de drenaje (Cd)

Tabla XV. **Tiempo en el que tarda el agua en evacuarse**

| Calidad del drenaje | Tiempo que tarda el agua en ser evacuada |
|---------------------|--|
| Excelente | 2 horas |
| Bueno | 1 día |
| Mediano | 1 semana |
| Malo | 1 mes |
| Muy malo | El agua no se evacúa |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Para el coeficiente de drenaje, se estima que el tiempo que tarda el agua en ser evacuada en la Planta Piloto es de aproximadamente un día. La pendiente del terreno ayuda a que está circule rápidamente. Es por eso, que la calidad del drenaje por elegir se catalogará como buena.

Tabla XVI. **Porcentaje de humedad próximos a saturación**

| Calidad del drenaje | Porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación | | | |
|---------------------|--|-------------|-------------|--------------|
| | Menos del 1 % | 1 – 5 % | 5 – 25 % | Más del 25 % |
| Excelente | 1,25 – 1,20 | 1,20 – 1,15 | 1,15 – 1,10 | 1,10 |
| Bueno | 1,20 – 1,15 | 1,15 – 1,10 | 1,10 – 1,00 | 1,00 |
| Mediano | 1,15 – 1,10 | 1,10 – 1,00 | 1,00 – 0,90 | 0,90 |
| Malo | 1,10 – 1,00 | 0,90 – 0,80 | 0,80 – 0,70 | 0,80 |
| Muy malo | 1,00 – 0,90 | 0,90 – 0,80 | 0,80 – 0,70 | 0,70 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

El porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación son del 1 % al 5 %, por tanto, para el coeficiente de drenaje se utilizó 1,10.

- Coeficiente de transferencia de cargas (J): es la capacidad que tiene la losa de transmitir fuerzas cortantes a las locas adyacentes, lo que repercute en minimizar las deformaciones y los esfuerzos en las estructuras del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de carga mejor será el comportamiento de este.

Tabla XVII. **Coefficiente J para transferencia de cargas**

| Arcén | Flexible | | De concreto | |
|---------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|-----------|
| Dispositivos de transmisión de cargas | Si | No | Si | No |
| Tipo de pavimento | | | | |
| En masa o armado con juntas | 3,2 | 3,8 – 4,4 | 2,5 – 3,1 | 3,4 – 4,2 |
| Armado continuo | 2,9 – 3,2 | - | 2,3 – 2,9 | - |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Para este proyecto, se ha considerado un acotamiento de concreto que, no tiene dispositivos de transmisión de cargas, así como pavimento de tipo en masa o armado con juntas. Para eso, se determinó que el coeficiente por utilizar será 3,4.

- Módulo de reacción del suelo K: la resistencia de la subrasante es considerada dentro del método por medio del Módulo de Reacción del Suelo K que se puede obtener directamente mediante la prueba de placa. El Módulo de reacción, se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de ASTM D1195 y D1196. El valor de K representa el soporte (terreno natural y terraplén si lo hay) y se puede incrementar al tomar la contribución de la subbase. Cuando se diseña un pavimento es probable que se tengan diferentes valores de K a lo largo del tramo por diseñar, el método AASHTO recomienda utilizar el valor promedio. En base a un gran número de muestras y estudios se han podido desarrollar algunos valores estimativos del módulo de reacción del suelo en función a

diferentes propiedades. Se pueden utilizar las correlaciones de CBR y SUCS como una guía para los valores del módulo de reacción K (en PCI).

Tabla XVIII. **Guía para la determinación del Módulo de Reacción K**

| Tipo de suelo | SUCS | Densidad seca | CBR | K' |
|--|-------------|--------------------------|------------|-----------|
| | | Lb/ft ³ | % | pci |
| Suelos granulares | | | | |
| Grava | GW, GP | 125 a 140 | 60 a 80 | 300 a 450 |
| Arena gruesa | SW | 120 a 130 | 35 a 60 | 300 a 400 |
| Arena fina | SP | 110 a 1303 | 20 a 40 | 200 a 400 |
| | | 105 a 120 | 15 a 25 | 150 a 300 |
| Suelos de material granular con alto contenido de finos | | | | |
| Grava limosa, grava areno limosa | GM | 130 145 | 40 a 80 | 300 a 500 |
| Arena limosa, arena limo gravosa | SM | 120 a 135 | 20 a 40 | 300 a 400 |
| Grava arcillosa, grava areno arcillosa | GC | 120 a 140 | 20 a 40 | 200 a 450 |
| Arena arcillosa | SC | 105 a 130 | 10 a 20 | 150 a 350 |

Continuación de la tabla XVIII.

| Suelos de material fino | | | | |
|--------------------------------|--------|-----------|--------|----------|
| Limo | | | | |
| Limo arenoso, limo gravoso | ML, OL | 90 a 105 | 4 a 8 | |
| Limo mal graduado | MH | 100 a 125 | 5 a 15 | 25 a 165 |
| Arcilla plástica | CL | 80 a 100 | 4 a 8 | 40 a 220 |
| Arcilla medianamente plástica | CL, OL | 100 a 125 | 5 a 15 | 25 a 190 |
| Arcilla altamente plástica | CH, OH | 95 a 125 | 4 a 15 | 25 a 255 |
| | | 80 a 110 | 3 a 5 | 25 a 215 |
| | | | | 40 a 220 |

Fuente: elaboración propia, con base en AASHTO Guide for design of pavement structures.

Para el CBR de la subrasante se tomó una arena arcillosa que presenta un porcentaje de CBR de 10 a 20 del tipo de suelo material la granular con alto contenido de fino, y se optó tomar el 10 %. Ahora, para el CBR de la subbase se tomó del mismo tipo de suelo una clasificación de grava-areno-arcillosa, en un rango de 20 a 40 % un 20 %. Con esos datos se obtuvo un módulo de reacción del suelo K de 221,28 pci.

Ahora, regresando a la sección 4,1. en donde se explicaba la ecuación general para el cálculo de espesores de losas en pavimentos rígidos ya con los datos necesarios se puede sustituir y obtener el resultado.

Tabla XIX. **Resumen de datos**

| | |
|----------------------|------------------|
| W ₁₈ | 2 311,00 |
| Z _R | 0,000 |
| S _o | 0,35 |
| ΔPSI | 2,50 |
| S' _c = MR | 83,63 psi |
| J | 3,40 |
| Cd | 1,10 |
| E _c | 1 935 733,35 psi |
| K | 221,28 pci |
| P _t | 2,00 |
| D | 5,8528 in |

Fuente: elaboración propia.

- **Espesor (D):** el espesor de losa concreto, es la variable “D” que se pretende determinar al realizar un diseño de pavimento rígido. El resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que interviene en los cálculos. Es importante especificar lo que se diseña, porque a partir de espesores regulares una pequeña variación puede significar una variación importante en la vida útil. Con el espesor propuesto se iguala la ecuación, y se acepta el diseño quedando como:

Tabla XX. **Propuesta de espesor**

| | |
|-------------------------|---------|
| Espesor redondeado D | 6,00 in |
| Se propone un espesor D | 6 in |
| D | 15 cm |

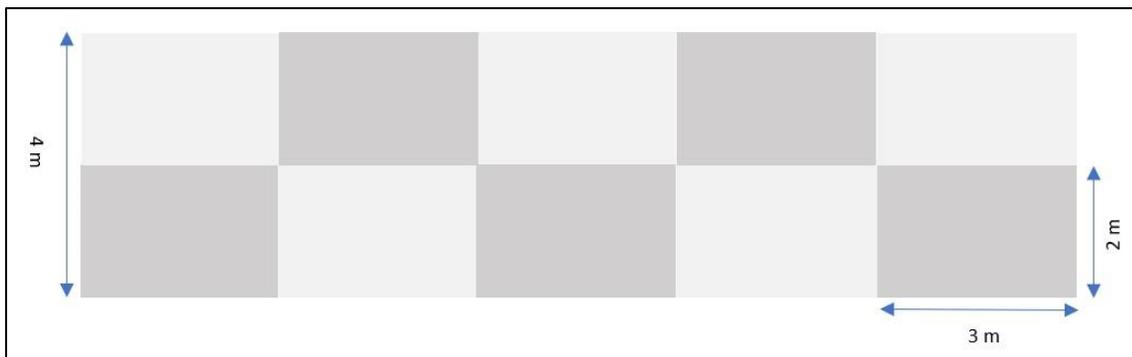
Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Diseño de las juntas

El diseño de juntas, será muy simple, la extensión del pavimento es corta, por sus características y simplicidad este no necesita de dovelas o algún tipo de transmisor de carga, porque el tráfico no es para nada alto. Este se calculará de la siguiente forma, tomando en cuenta que el ancho de la vía es de 4 m y el del carril de 2 m.

- Factor esbeltez: $0,83 < A/B < 1,2$
- Lado mayor: 3 m; lado menor: 2 m
- Relación: lado mayor/lado menor, debe estar en el rango de: 1,0 - 1,4 según AASHTO 93. $3/2 = 1,5$; por lo cual cumpliría con el parámetro de la relación.

Figura 41. Modulación de losas



Fuente: elaboración propia, empleando Paint de Windows 10.

4.2.3. Diseño de cuneta

Se considera emplear bordillo como cuneta, este transportara el caudal de origen pluvial del pavimento y de las casas en su perímetro. Mismo que se diseñará en condiciones críticas, para lo cual se tienen los siguientes parámetros de diseño:

- Intensidad de lluvia

$$\text{Intensidad de lluvia} = I = \frac{A}{(B + t)^n}$$

Donde:

A = varía por cada región, se tomó Guatemala con 720.

B = varía por cada región, se tomó Guatemala con 2.

n = varía por cada región, se tomó Guatemala con 0,637.

Según Gil (2012), para un período de retorno de 20 años y una duración de lluvia de 20 min.

$$I = \frac{720}{(2 + 20)^{0,637}} = 100,51 \text{ mm/hr}$$

Constante de escorrentía para pavimento = $C_1 = 0,95$

Constante de escorrentía para perímetro urbano = $C_2 = 0,50$

- Caudal hidrológico se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal hidrológico} = Q_{\text{Hidro}} = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

C = constante de escorrentía.

I = intensidad de lluvia en mm/h.

A = área en hectáreas.

- Caudal hidráulico se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal hidráulico} = Q_{hidra} = A * V$$

Donde:

A = área en metros cuadrados.

V = velocidad en m/s, se calcula mediante la ecuación de Manning.

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

Donde:

n = coeficiente de Manning (concreto = 0,014, PVC = 0,009).

R = radio hidráulico (área/perímetro mojado).

S = pendiente.

- Caudal hidrológico
 - Área del espacio urbano: este se representa como 231 m x 1 m que en hectáreas corresponde a 0,0231.
 - Área del espacio de pavimento: este se representa como 231 m x 4 m que en hectáreas corresponde a 0,0924.

Entonces se resuelve de la siguiente forma:

$$Q_1 = \frac{(0,5)(100,51 \text{ mm/hr})(0,0231 \text{ Ha})}{360} = 0,00322 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = \frac{(0,95)(100,51 \text{ mm/hr})(0,0924 \text{ Ha})}{360} = 0,02451 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Hidro}} = Q_1 + Q_2 = 0,00322 \text{ m}^3/\text{s} + 0,02451 \text{ m}^3/\text{s} = 0,02773 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Hidro por metro}} = 0,02773 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Caudal hidráulico

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \left(R^{2/3}\right) \left(S^{1/2}\right) = \left(\frac{1}{0,014}\right) \left(\frac{0,10 \text{ m}^2}{0,10 \text{ m} + 2,00 \text{ m}}\right)^{2/3} (2,5 \%)^{1/2} = 1,48376 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{hidra}} = A * V = (0,10 \text{ m}^2)(1,48376 \text{ m/s}) = 0,14838 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{hidra}} = 0,14838 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{hidra}} \gg Q_{\text{Hidro}}$$

$$0,14838 \text{ m}^3/\text{s} \gg 0,02773 \text{ m}^3/\text{s}$$

La capacidad de retención del bordillo cumple

4.2.4. Diseño geométrico

Para el diseño geométrico, se optó por realizarlo en el programa Civil 3D, y en este se trabajó según AASHTO 2018. Por tanto, algunas de las consideraciones quedaron de la siguiente forma:

- Velocidad de diseño: 20 km/h
- Peralte máximo: 4 %
- 2 carriles y 1 sentido

- Pendiente de bombeo: 2,5 %

Los datos geométricos obtenidos del diseño de pavimento son los siguientes:

Tabla XXI. **Datos geométricos del pavimento**

| Tangente | | |
|-----------------------|----------------------|------------|
| No. 1 | Estación de inicio | 0 + 000 00 |
| | Estación final | 0 + 017 18 |
| | Distancia horizontal | 17,182 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Azimut | 226°31'16" |
| Curva circular | | |
| No. 2 | Estación de inicio | 0 + 017 18 |
| | Estación final | 0 + 040,52 |
| | Radio mínimo | 8,00 m |
| | Radio utilizado | 15,00 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Deflexión (derecha) | 89°08'38" |
| | Longitud de curva | 23,338 m |
| Tangente | | |
| No. 3 | Estación de inicio | 0 + 040,52 |
| | Estación final | 0 + 050,06 |
| | Distancia horizontal | 9,535 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Azimut | 315°39'55" |

Continuación de la tabla XXI.

| Curva circular | | |
|--------------------------------|-------------------------------|------------|
| No. 4 | Estación de inicio | 0 + 050,06 |
| | Estación final | 0 + 065 79 |
| | Radio mínimo | 8,00 m |
| | Radio utilizado | 15,00 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Deflexión (derecha) | 60°05'00" |
| | Longitud de curva | 15,73 m |
| Tangente | | |
| No. 5 | Estación de inicio | 0 + 065 79 |
| | Estación final | 0 + 083 78 |
| | Distancia horizontal | 17,993 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Azimut | 255°34'55" |
| Curva espiral: clotoide | | |
| No. 6,1 | Estación de inicio | 0 + 083 78 |
| | Estación final | 0 + 095 78 |
| | Largo espiral inicial | 12,00 m |
| | Longitud mínima de transición | 12 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| Curva circular | | |
| No. 6,2. | Estación de inicio | 0 + 095 78 |
| | Estación final | 0 + 118 01 |
| | Radio mínimo | 8,00 m |
| | Radio utilizado | 40,00 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Deflexión (derecha) | 31°51'02" |
| | Longitud de curva | 22,236 m |

Continuación de la tabla XXI.

| Curva espiral: clotoide | | |
|--------------------------------|-------------------------------|------------|
| No. 6,3 | Estación de inicio | 0 + 118 01 |
| | Estación final | 0 + 130,01 |
| | Largo espiral final | 21,909 m |
| | Longitud mínima de transición | 12 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| Tangente | | |
| No. 7 | Estación de inicio | 0 + 130,01 |
| | Estación final | 0 + 181,06 |
| | Distancia horizontal | 51,041 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Azimut | 206°32'33" |
| Curva espiral: clotoide | | |
| No. 8,1 | Estación de inicio | 0 + 181,06 |
| | Estación final | 0 + 193,06 |
| | Largo espiral inicial | 12,00 m |
| | Longitud mínima de transición | 12 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| Curva circular | | |
| No. 8,2 | Estación de inicio | 0 + 193,06 |
| | Estación final | 0 + 201,53 |
| | Radio mínimo | 8,00 m |
| | Radio utilizado | 40,00 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Deflexión (derecha) | 12°07'57" |
| | Longitud de curva | 8,470 m |
| Curva espiral: clotoide | | |
| No. 8,3 | Estación de inicio | 0 + 201,53 |
| | Estación final | 0 + 213 53 |
| | Largo espiral final | 21,909 m |
| | Longitud mínima de transición | 12 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| Tangente | | |
| No. 9 | Estación de inicio | 0 + 213 53 |
| | Estación final | 0 + 231 20 |
| | Distancia horizontal | 17,672 m |
| | Velocidad de diseño | 20 km/h |
| | Azimut | 177°13'17" |

Fuente: elaboración propia, empleando el Software Civil 3D.

4.3. Área de estacionamiento para las instalaciones de la planta

El estacionamiento, está pavimentado bajo las mismas consideraciones que el acceso principal y posee un área de 1 476,225 m². Por el espacio este se estableció para vehículos livianos y cuenta con 52 parqueos. Ahora, si algún vehículo pesado quisiera ingresar puede hacerlo y lo recomendable es que no sea en horario pico.

También, para el ingreso al parqueo, como se podrá observar más adelante en el plano, se propone una garita de ingreso/salida, que pretende llevar el orden adecuado de las personas que permanecen en la planta.

Dentro de los costos que más adelante se podrán ver, se propone también la señalización horizontal dentro del estacionamiento y los topes dentro de cada espacio.

4.4. Área de ingreso y salida de la planta

Como se pudo observar en el capítulo 3, algunas de las observaciones fueron la mala presentación del ingreso a la planta, y se decidió hacer una propuesta que se podrá observar mejor en el apéndice. Mientras tanto, se presentan los cálculos de columna y zapata realizados para su predimensionamiento.

Es importante saber, que dentro de los costos se consideró área verde y ornamentación para ciertos lugares dentro de la planta, y para el ingreso también se propone.

4.4.1. Cálculo de columna

Para el cálculo de este elemento, se consideraron aspectos según la UBC, estos son:

- Factor de importancia sísmica: por ser un destino estándar se consideró que $I = 1$.
- Período de la estructura: según el valor de la constante y altura de la estructura se determinó que $C_t = 0,0488$, $H_n = 14,5$ y $T = 0,36$ s.
- Zona sísmica y factor de zona sísmica: por su ubicación, este tiene una zona sísmica de 4 que se representa como $Z = 0,4$.
- Distancia a la fuente de sismo: se utilizó un valor de 5 kilómetros debido a que la ciudad se encuentra rodeada de varias fallas activas que pueden ocasionar sismos.
- Tipo de lugar de origen del sismo: se denomina de tipo A.
- Factores de cercanía: para $N_a = 1,2$ y $N_v = 1,6$.
- Coeficientes de respuesta sísmica: para C_a que se representa como $0,36$ de N_a , el valor es $0,43$ y para C_v que se representa como $0,96$ de N_v , el valor es $1,54$.
- Carga sísmica: esta se observa en la siguiente tabla, en la cual por medio de cinco criterios se determinó el valor apropiado.

Tabla XXII. Cálculo de carga sísmica en base a UBC

| Cálculo de la carga sísmica utilizando los factores calculados | | |
|---|---|--------|
| Utilizar el mayor valor calculado a partir de los siguientes criterios: | | |
| Criterio 1 | $V = \frac{C_v I}{R T} W = \frac{1,54 * 1,00}{4,50 * 0,36} * W = 0,95W$ | 0,95 W |

Continuación de la tabla XXII.

| | | |
|---|---|---------------|
| Criterio 2 | $V = \frac{2,5C_a l}{R} W = \frac{2,50 * 0,43 * 1,00}{4,50} * W = 0,24W$ | 0,24 W |
| Criterio 3 | $V = 0,11C_a l W = 0,11 * 0,43 * 1,00 * W = 0,05W$ | 0,05 W |
| Criterio 4 | $V = \frac{N_v l}{R} W = \frac{0,80 * 0,400 * 1,60 * 1,00}{4,50} * W = 0,11W$ | 0,11 W |
| El valor final de la carga es 0,95 W | | |

Fuente: elaboración propia.

Luego, se realiza el cálculo de la carga de viento.

Tabla XXIII. **Carga de viento**

| Presión de diseño de viento (P) | | | 81,17 kg/m² |
|--|--|--------|-------------------------------|
| Ce | D | 1,4 | |
| Cq | Estructuras encerradas y no encerradas | 1,2 | |
| Qs | Zonas de velocidad básica de viento 1 000 Km/h | 474 Pa | |
| I | Obra no esencial | 1 | |

Fuente: elaboración propia.

Se consideran los valores de la columna propuesta para la carga muerta y se obtiene lo siguiente:

Tabla XXIV. **Datos para cálculos de carga muerta**

| Columna | |
|----------------|-------------------------|
| Concreto | 2 400 kg/m ³ |
| Altura | 3,30 m |
| Ancho | 0,30 m |
| Peralte | 0,30 m |
| Volumen | 0,30 m ³ |
| Peso columna | 712,80 kg |

Fuente: elaboración propia.

Ya con los datos anteriores, se dispone entonces a realizar las combinaciones de cargas respectivas.

Tabla XXV. **Combinaciones de cargas**

| Cargas | |
|------------------------------|-------------|
| Carga muerta (D) | 712,80 kg |
| Carga viva (L) | 0,00 kg |
| Sismo (E) | 670,03 kg |
| Viento (W) | 535,72 kg |
| Combinaciones | |
| $U = 1,4D+1,7L$ | 997,92 kg |
| $U = 0,75(1,4D+1,7L) + 1,6W$ | 1 605,60 kg |
| $U = 0,75(1,4D+1,7L) + 1,0E$ | 1 418,47 kg |
| $U = 0,9D+1,6W$ | 1 498,68 kg |
| $U = 0,9D+1,0E$ | 1 311,55 kg |

Fuente: elaboración propia.

De estos se tomó el valor mayor, es decir 1 605,60 Kg. Teniendo entonces estos valores, se procede a realizar el cálculo del acero considerando las siguientes propiedades:

- Longitud (L): 3,30 m
- Base (b): 0,3000 m
- Peralte efectivo (d): 0,3000 m
- f_y : 4 200 kg/cm²
- f'_c : 210 kg/cm²
- β : 0,85
- W_c : 2 400 kg/m³

Ahora, en las ecuaciones de cuantía máxima, acero máximo y mínimo se sustituyen los valores anteriores para determinar el acero total.

$$\rho_b = \frac{0,85 * \beta * f'_c}{f_y} + \frac{6120}{6120 + f_y} = 0,021422965$$

$$A_{smax} = 0,5 * \rho_b * b * d = 9,64 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = \frac{0,8(f'_c)^{1/2}}{f_y} db \geq \frac{14}{f_y} db = 3,00 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \left[b * d - \sqrt{(b * d)^2 - \frac{M_u * b}{0,003825 * f'_c}} \right] * \frac{0,85 * f'_c}{f_y} = 8,70 \text{ cm}^2$$

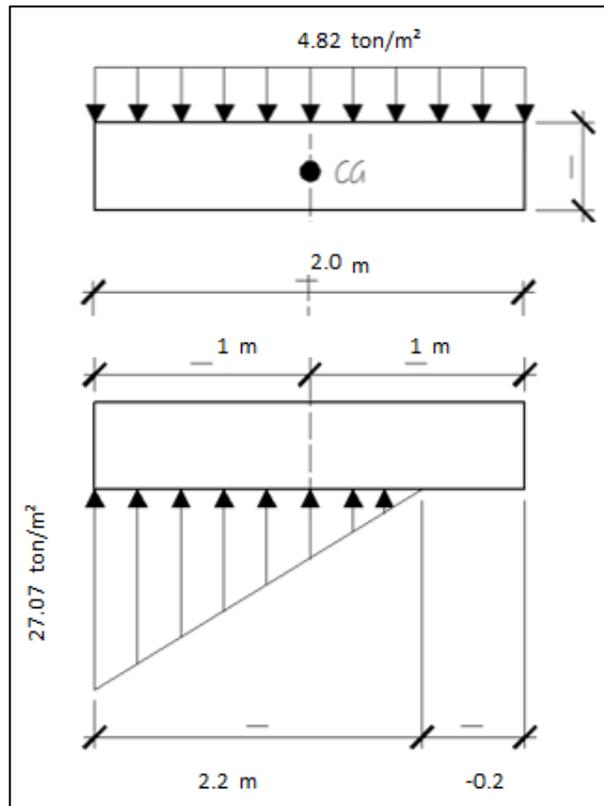
Se concluye, entonces que 8 No. 4 es la cantidad de acero por utilizar en la columna propuesta de 0,30 x 0,30 m.

4.4.2. Cálculo de zapata

Los datos para el cálculo de la zapata excéntrica son los siguientes:

- P_u (T): 42,377
- M_a (x-x) (T-m): 17,752
- M_a (y-y) (T-m): 13,945
- F.C.U.: 1,5
- f'_c (kg/cm²): 281,8
- f_y (kg/cm²): 4 227,2
- V_s (T/m²): 10
- W_s (T/m³): 1,302
- W_c (T/m³): 2,4
- # varilla: 4
- Recubrimiento (m): 0,075
- Desplante (m): 1,6
- Alto de columna (m): 3,05
- Dim. De columna (m): 0,45
- Cortante ACI 318-14: 0,75
- Cuantía mínima ACI 318-14: 0,0018

Figura 42. Cálculo de momentos



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Es importante resaltar que los datos son estimados y no aplican exactamente por el tipo de suelo al proyecto debido a la toma de parámetros inmediatos cercanos al lugar. Parámetros como el concreto, resistencias y peso muerto si son propios de la propuesta.

- Primero: cargas de servicio
 - PUS (T): 28,251
 - Mas (x-x) (T-m): 11,835

- Mas (y-y) (T-m): 9,297
- Segundo: área inicial de zapata
 - Az: 4,238 ~ 4,34
 - Bz: 2,6 ~ 2,17
 - Hz: 1,6 ~ 2,0
 - T (m): 0,47
- Tercero: transferencia de cargas al CG
 - W columna (T): 1,5
 - Ws (T): 9,0
 - Wz (T): 4,9
 - P' (T): 28,3
 - P_{cg} (T): 43,7
 - D (m): 0,8
 - M_{cg} (T-m): 11,2
- Cuarto: cálculo de excentricidad.
 - Excentricidad (m): 0,26
 - Hz/6 (m): 0,33 (dentro del polígono)
 - q (máx.) (T/m²): 18,05 (chequea el área)
- Quinto: presión última sobre el suelo.
 - q, dis. (T/m²): 27,07
 - q, (s+z) (T/m²): 4,82

- Sexto: DCL de carga sobre zapata
 - a (m): 0,74
 - $3a$ (m): 2,2
 - $W_{(x)}$ (T/m²): 12,1

- Séptimo: peralte efectivo
 - d (cm): 38,87

- Octavo: perímetro y área de punzonamiento
 - b_o (cm): 212,73
 - A_o (m²): 0,5404

- Noveno: corte punzonante
 - V_p , act (T): 32,46
 - V_p , resist. "a" (T): 114,50
 - V_p , resist. "b" (T): 156,86
 - V_p , resist. "c" (T): 210,25
 - Chequeo: corte punzonante sí chequea

- Décimo: corte simple
 - X (m): 0,40
 - V_{act} , máx. (T): - 0,15
 - V_{act} , sec. crítica (T): - 6,16
 - V_{res} (T): 25,93

- Chequeo: corte simple sí chequea
- Onceavo: refuerzo en sentido x-x

Tabla XXVI. **Refuerzo en sentido x-x**

| | |
|----------------------------------|-----------|
| X (m). | 0,9798 |
| Mact (kg-cm) | -432879,2 |
| As de varilla (cm ²) | 1,27 |
| As (min) (cm ²) | 7,00 |
| As (cm ²) | -2,9084 |
| As por emplear | 15,1807 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Acero requerido**

| Camas | Cm ² | # varillas min |
|----------|-----------------|----------------|
| Superior | 7,59 | 5,99 |
| Inferior | 7,59 | 5,99 |

Fuente: elaboración propia.

Se proponen varillas de 11 con 13,93 cm². Ambas camas chequean con número 4. Teniendo un espaciado de 18 cm y acero total de 27,87 cm².

- Doceavo: refuerzo en sentido y-y

Tabla XXVIII. **Refuerzo en sentido y-y**

| | |
|------------------------------|-----------|
| q (prom) (T/m ²) | 21,00 |
| M (kg-m) | 598573,00 |
| # varilla en primer metro | 4 |
| # varilla en resto | 4 |
| d, efect (cm) | 37,60 |
| A (cm ²) | 4,23 |
| As (min) (cm ²) | 6,77 |
| As para primer metro | 6,77 |
| As para el resto | 6,77 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Acero requerido**

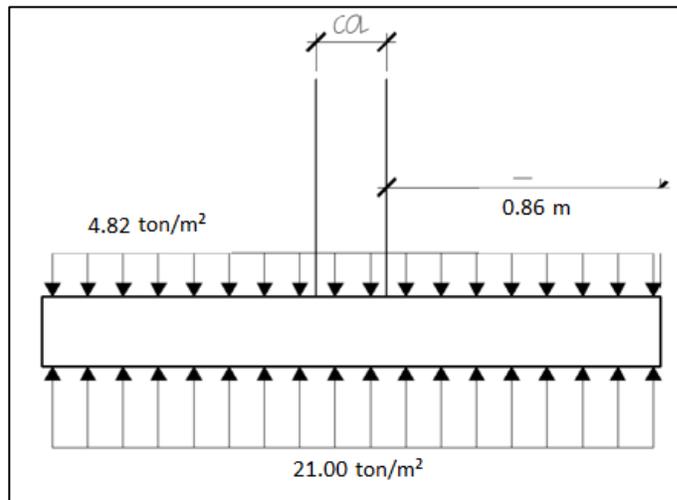
| Camas | Cm² en primer metro | Cm² en resto | Resto (m) |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Superior | 6,77 | 6,77 | 1,00 |
| Inferior | 6,77 | 6,77 | 1,00 |

Fuente: elaboración propia.

Se proponen entonces 6 varillas como mínimo en el primer metro cumpliendo cada uno con 7,60 cm² y un espaciamiento de 18,5 cm. Ahora, en el resto se propone la misma cantidad de varillas, pero con un espaciamiento de

15,4 cm. Es decir, para ambas camas en el sentido x-x se usarán 6 varillas número 4 a cada 18 cm.

Figura 43. **Esfuerzos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Para la columna de 0,30 x 0,30 m las dimensiones colocadas para las zapatas cumplen en su totalidad. La propuesta puede observarse en planos.

4.5. Diseño de recubrimiento de lagunas de estabilización facultativas

Al momento de medir las lagunas de estabilización facultativas, estas no poseían las mismas medidas debido a la inundación que había entre ellas, por tanto, se decidió establecer 42 metros de largo y 14 metros de ancho para ambas.

Al realizar un movimiento de tierras de estas dos se propone cubrir todos los espacios con cemento hidráulico cuyas propiedades sean

impermeabilizantes, y de un borde de dos hiladas de block vacío de 0,14x0,19x0,30 clase B alisado de cemento.

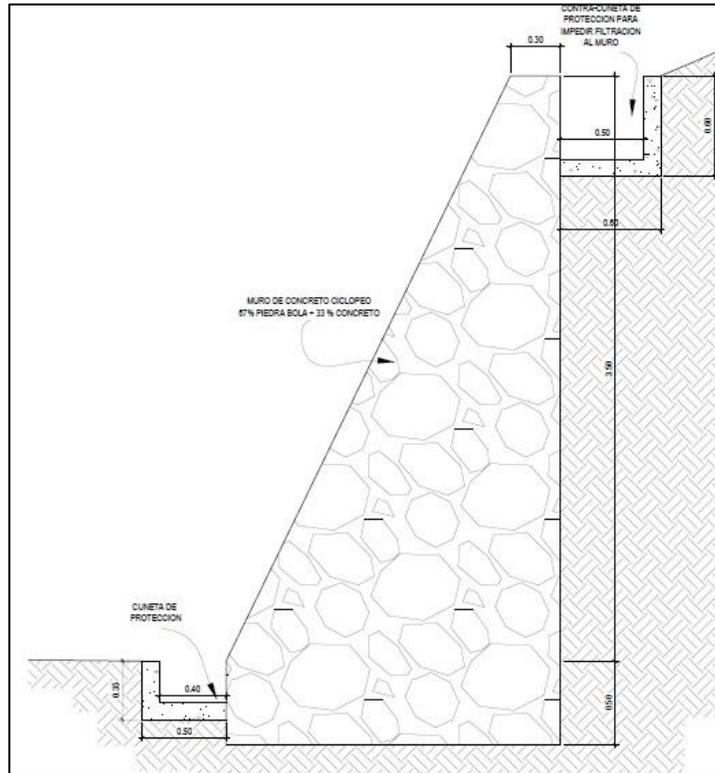
Ahora, para los dos taludes cercanos a las lagunas, se propuso un muro de concreto ciclópeo para evitar el empuje de la tierra en conjunto con una contracuneta para disipar la energía de la caída del agua.

4.5.1. Cálculo de muro de contención

Se presentan datos estimados del estudio de suelos para realizar los cálculos pertinentes. Las dimensiones del muro sí corresponden a las propuestas.

- W_s : 1 487 kg/m³
- Valor soporte: 28,58 T/m²
- Ángulo: 26,87 °C que corresponden a 0,46897 radianes
- C : 0,25
- W_c : 2 400 kg/m³

Figura 44. Muro de contención propuesto



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Predimensionamiento: para el predimensionamiento se toma que la altura y será de 3 metros por lo que 3 metros x 0,4 y 0,6 brindan los siguientes datos.

Tabla XXX. Predimensionamiento muro de contención

| Base de muro 0,4 A 0,6 H | |
|--------------------------|------------|
| Base < | 1,2 metros |
| Base > | 1,8 metros |

Fuente: elaboración propia.

- Coeficiente de empuje: para este se consideran los activos y pasivos del suelo.

Tabla XXXI. **Coeficiente de empuje**

| | |
|----|---|
| Ka | $(1 - \text{seno}(0,46897)) / (1 + \text{seno}(0,46879)) = 0,3774411$ |
| Kp | $1/0,3774411 = 2,64942$ |

Fuente: elaboración propia.

- Presiones horizontales: para el cálculo de las presiones horizontales o laterales del suelo se realizó lo siguiente.

Tabla XXXII. **Presiones horizontales del suelo**

| | |
|-------------------------------------|--|
| Presión pasiva horizontal (pph) | $Kp \times Ws \times 1,3 = 5121,5937 \text{ km/m}^2$ |
| Presión activa horizontal (pah) | $Ka \times h \times Ws = 1683,7648 \text{ km/m}^2$ |
| Presión horizontal del diente (phd) | $Kp \times Ws \times 0,5 = 1969,8437 \text{ km/m}^2$ |

Fuente: elaboración propia.

Tomar en cuenta que para la presión horizontal del diente se multiplico por 0,5 debido a que fue la sección propuesta para este.

- Cargas totales de presión y momentos al pie del muro.

Tabla XXXIII. **Cargas totales de presión y momentos al pie del muro**

| Cargas | |
|-------------------------------------|--|
| Cargas totales pasivas (Pph) | $1,3 \times 0,5 \times pph = 3\,329,0359 \text{ kg/m}$ |
| Cargas totales activas (Pah) | $H \times 0,5 \times pah = 2\,525,6472 \text{ kg/m}$ |
| Carga total del diente (Phd) | $0,5 \times phd \times 0,5 = 492,46093 \text{ kg/m}$ |
| Momentos | |
| Momento pasivo horizontal (Mph) | $1,3 \times Pph/3 = 1\,442,5822 \text{ kg m / m}$ |
| Momento activo horizontal (Mah) | $H \times Pah/3 = 2\,525,6472 \text{ kg m / m}$ |
| Momento horizontal del diente (Mhd) | $2/3 \times 0,5 \times Phd = 164,15364 \text{ kg m / m}$ |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Momentos actuantes al pie del muro**

| Figura | Área (m²) | W (kg/m³) | Peso (kg/m) | Brazo (m) | Momento (kg.m/m) |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0,078 | 1487 | 115,986 | 0,04 | 4,639 |
| 2 | 2,55 | 2400 | 6120 | 1,13 | 6936 |
| 3 | 0,9 | 2400 | 2160 | 1,85 | 3996 |
| 4 | 0,25 | 2400 | 600 | 1,7 | 1020 |
| | | ΣW | 8995,986 | ΣM | 11956,63944 |

Fuente: elaboración propia.

- Chequeo por volteo y deslizamiento.

FSv = 5,37025737 - Verdadero

FSd = 2,40353975 - Verdadero

- Chequeo por presión máxima bajo el muro.

$$a = 1,1904666$$

$$e = -0,1904666$$

q max. = 1927,84071 que corresponde a 1,92784071 T/m² - Verdadero

q min. = 7068,14529 que corresponde a 7,066814529 T/m² - Verdadero

Por tanto, la propuesta del muro de contención es permitida.

4.6. Cambio de material filtrante de humedal de tul

Para el cambio de material filtrante en el humedal es importante tomar en cuenta el diseño hidráulico, este es crítico para el éxito de su rendimiento. Este no se realizó debido a que ya está establecido por los diseñadores y los datos nunca se obtuvieron, por lo que se propondrá el material haciendo saber al lector que lo ideal es que por medio de dicho diseño iniciar con la modelación del humedal artificial.

Se propone entonces que el lecho filtrante pueda ser:

- Sustrato (medio granular) 20 cm: se puede hacer uso de grava y arena con el fin de brindar la permeabilidad suficiente para permitir el paso de agua a través de él, y tiene la ventaja de aumentar la conductividad hidráulica.
- Base de lecho orgánico o vegetación 5 cm: puede ser como ya se tenía establecido con tul o se puede usar vetiver, junco, entre otros. La ventaja de utilizar cualquiera de este tipo de plantas especiales para tal tarea es que transfieren el oxígeno a la zona de la raíz permitiendo la penetración a la tierra y transportando el oxígeno de manera profunda de lo que llegaría

naturalmente a través de la sola difusión. Los juncos pueden llegar a medir hasta 4 metros y son originarios de América del Norte. Lo recomendable es que para la obtención de este se verifique si está debajo del nivel freático y para su extracción no se causan daños en las raíces o a lo largo de la planta.

- Altura del cuerpo de agua 30 cm: la planta ya cuenta con el sistema para abastecer de agua dichos humedales.
- Antracita: se recomienda utilizar esto en los humedales como medio filtrante para la depuración de agua, porque es un carbón activado con estructura porosa que posee propiedades de absorción y mejoramiento de la turbiedad.

Para que el humedal funcione adecuadamente, se recomienda revisar paulatinamente los parámetros, para garantizar mayor precisión, como: pH, turbiedad, color, salinidad, conductividad, resistividad, sólidos suspendidos, temperatura, porcentaje de oxígeno, oxígeno y alcalinidad. También, ideal sería verificar la demanda bioquímica de oxígeno DBO, la demanda química de oxígeno DQO, coliformes fecales, nitratos, nitrógeno y fósforo total.

4.7. Presupuesto

Se presenta la integración de costos de los proyectos propuestos en la planta piloto.

Tabla XXXV. Presupuesto por renglones

| PRESUPUESTO POR RENGLONES | | | | | |
|---|--|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA | | | | | |
| No | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Sub total |
| 1 | TRABAJOS PRELIMINARES PAVIMENTO | M ² | 3683,63 | Q 0,73 | Q 2 680,26 |
| 2 | CORTE DE CAJUELA Y COMPACTACION DE SUB RASANTE PAVIMENTO (t=0,30mt.) | M ² | 2231,38 | Q 22,47 | Q 50 147,88 |
| 3 | COLOCACION Y COMPACTACION DE SUB-BASE GRANULAR (t = 0,15 METROS) | M ² | 1911,68 | Q 50,73 | Q 96 973,74 |
| 4 | BORDILLO DE CONCRETO 3000 PSI DE 0,40 * 0,10 METROS | ML | 520,10 | Q 113,10 | Q 58 822,32 |
| 5 | CUNETA DE CONCRETO EN V DE 0,50 METROS 3000 PSI | ML | 237,82 | Q 194,13 | Q 46 167,23 |
| 6 | PAVIMENTO HIDRAULICO 4 000 PSI (t = 0,15 METROS) | M ² | 1911,68 | Q 326,10 | Q 623 405,70 |
| 7 | CORTE Y SELLO DE JUNTAS | ML | 1247,45 | Q 46,84 | Q 58 432,20 |
| 8 | PINTURA EN CENTRO DE PAVIMENTO Y DELIMITACIÓN DE VEHÍCULOS | ML | 455,10 | Q 18,46 | Q 8 401,19 |
| 9 | TOPES PARA VEHÍCULOS | UNIDAD | 52,00 | Q 127,50 | Q 6 630,00 |
| 10 | ÁREA VERDE / ORNAMENTACIÓN | M ² | 125,00 | Q 79,44 | Q 9 930,00 |
| 11 | MURO DE CONTENCIÓN DE CONCRETO CICLÓPEO | M ³ | 462,30 | Q 1 019,05 | Q 471 106,57 |
| 12 | CUNETA Y CONTRACUNETA MURO DE CONTENCIÓN | ML | 178,22 | Q 287,49 | Q 51 237,23 |
| 13 | CIMIENTO CORRIDO DE 0,30 X 0,20 METROS | ML | 221,60 | Q 113,24 | Q 25 092,98 |
| 14 | COSTILLA DE 0,15 X 0,10 METROS @ 2,50 METROS | ML | 35,26 | Q 123,39 | Q 4 351,11 |
| 15 | LEVANTADO DE MURO DE BLOCK | M ² | 220,40 | Q 216,18 | Q 47 646,73 |
| 16 | SOLERA CORONA DE 0,10 X 0,20 METROS | ML | 221,60 | Q 83,61 | Q 18 528,50 |
| 17 | REPELLO + CERNIDO EN MURO Y LAGUNA | M ² | 744,06 | Q 66,20 | Q 49 255,11 |
| 18 | ALISADO DENTRO DE MURO DE LAGUNA | M ² | 105,21 | Q 73,97 | Q 7 782,76 |
| 19 | ZAPATA DE PORTÓN A PARQUEO | UNIDAD | 2,00 | Q 1 167,21 | Q 2 334,42 |
| 20 | COLUMNA DE 0,30 X 0,30 METROS | ML | 7,70 | Q 407,84 | Q 3 140,38 |
| 21 | PORTÓN METÁLICO | UNIDAD | 1,00 | Q 8 489,99 | Q 8 489,99 |
| 22 | CONSTRUCCIÓN DE CASETA | GLOBAL | 1,00 | Q 15 150,00 | Q 15 150,00 |
| 23 | LIMPIEZA FINAL | UNIDAD | 1,00 | Q 1 437,71 | Q 1 437,71 |
| COSTO TOTAL DEL PROYECTO | | | | | Q 1 667,144,01 |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Las condiciones de la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa son inadecuadas, siendo este un lugar donde estudiantes, profesores y profesionales realizan visitas, estudios e investigaciones no debería ser así. A pesar de estar ubicado en una colonia militar, este no cubre las necesidades básicas de agua, luz y seguridad. También, las unidades hidráulicas no han llevado el mantenimiento adecuado, y no es deseable al momento desarrollar algún tipo de investigación en el lugar.
2. Los parámetros o consideraciones de diseño para la vía de acceso y el estacionamiento son la selección y reconocimiento de la ruta, la determinación del módulo de ruptura de concreto y de reacción del suelo, el tránsito, las cargas de diseño, el área de maniobra y los radios de giros.
3. Los parámetros que deben tomarse en cuenta para el diseño de drenajes, cunetas, contracunetas o bordillos, son la intensidad de lluvia, el caudal hidrológico e hidráulico.
4. Para las lagunas de estabilización facultativas no se consideraron parámetros de diseño desde el punto de vista hidráulico solamente constructivo.
5. La propuesta de cada uno de los diseños para las instalaciones de la Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa se encuentra en el capítulo 4 y en los planos y presupuestos anexados a este trabajo de grado.

6. El costo total del proyecto fue de Q 1 667,144,01, los renglones por actividad se encuentran en la sección de apéndice.

RECOMENDACIONES

1. A las entidades responsables de la planta piloto, Gubernamentales y no Gubernamentales, profesionales y estudiantes, que elaboren un listado de necesidades y prioridades del lugar y lleven a cabo actividades preliminares como el estudio de suelos y de impacto ambiental, por ejemplo, para llevar a cabo estos proyectos.
2. Para realizar un diseño adecuado de la vía de acceso y parqueo se sugiere evaluar el terreno por medio de ensayos de laboratorio de suelos como Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor Estándar, Relación Soporte de California, Corte Directo y Densidad de Arena para determinar las características de este y evaluar un posible movimiento de tierras en caso el ancho del pavimento se desee ampliar para que existan dos carriles (1 en cada sentido) al igual que optimizar el área del estacionamiento.
3. En caso se amplie el camino de acceso, colocar cunetas y bordillos, sino únicamente bordillos que al igual que las cunetas buscan encauzar el agua hacia uno o más puntos de desfogue.
4. A los encargados de Postgrado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria que propongan en conjunto con sus estudiantes la ampliación y actualización de los sistemas hidráulicos del lugar a entidades interesadas en apoyar o llevar a cabo proyectos dentro de la planta y a su vez darles seguimiento para que estos sean finalizados.

5. A las entidades responsables de la planta piloto, promover actividades en donde estudiantes, profesionales y catedráticos pongan a prueba sus conocimientos y ejecuten proyectos tangibles para la mejora del lugar.
6. Complementar la información brindada en caso de nuevos aportes y/o cambios en las propuestas manifestadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agency United States Environmental Protection Agency, EPA. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. [en línea]. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf>. [Consulta: abril de 2021].
2. American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets*. [en línea]. <[https://trust.dot.state.wi.us/ftp/dtsd/bts/environment/library/PE/AA_SHTO-GreenBook-7th-edition\(2018\).pdf](https://trust.dot.state.wi.us/ftp/dtsd/bts/environment/library/PE/AA_SHTO-GreenBook-7th-edition(2018).pdf)>. [Consulta: febrero de 2021].
3. AROCHE, Karin. *Cómo se distribuyeron las zonas de la Ciudad de Guatemala*. [en línea]. <<https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/como-se-distribuyeron-las-zonas-de-la-ciudad-de-guatemala/#:~:text=Posteriormente%2C%20en%20el%20a%C3%B1o%201972,zonas%2020%2C%2022%20y%2023>>. [Consulta: marzo de 2021].
4. BARRAGÁN GONZÁLEZ, Enrique Estuardo. *Diseño y planificación de apertura de carretera del tramo comprendido entre las aldeas de Sacuchum y San Francisco El Tablero y drenaje sanitario de Aldea Mavil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos*. Trabajo de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. 175 p.

5. CAMPA CORREA, Andrea. *Manual de pavimento rígido y flexible*. [en línea]. <<https://www.studocu.com/ko/document/instituto-tecnologico-de-merida/pavimentos/22bf-pavimentos/12138705>>. [Consulta: enero de 2021].
6. CASTRO VÁSQUEZ, María Gabriela. *Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido*. [en línea]. <<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/1717/3308>>. [Consulta: noviembre de 2021].
7. CORONADO ITURBIDE, Jorge. *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. [en línea]. <<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf>>. [Consulta: enero de 2021].
8. DAS, Braja. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. 4a ed. México: CENGAGE, 2013. 636 p.
9. Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Guatemala. *Guía de aplicación dotación y diseño de estacionamientos*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala, 2010. 52 p.
10. Dirección General de Caminos de la República de Guatemala. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. [en línea]. <<http://www.covial.gob.gt/specs/LibroAzul-Sept2001.pdf>>. [Consulta: febrero de 2021].
11. GALL, Francis. *Diccionario geográfico de Guatemala*. 2a ed. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 1983. 259 p.

12. GARGÍA, Gabriel Alejandro. *Cuneta de concreto*. [en línea]. <<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/a0972b1422be14463eedc891a4d0f3b6/Cuneta-Concreto?hl=es>>. [Consulta: febrero de 2021].
13. Instituto Nacional de Vías, INVIAS. *Manual de drenaje para carreteras*. Colombia: Ministerio de Transporte, 2009. 538 p.
14. MEDINA FAJARDO, Carlos Emilio. *Diseño de pavimento del tramo carretero de la aldea laguna seca hacia la Aldea El Durazno y diseño de las instalaciones del Instituto por Cooperativa de la Aldea Las Trojes, Municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala*. Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. 186 p.
15. MORA, Mariana. *Altimetría*. [en línea]. <<https://www.studocu.com/latam/document/instituto-universitario-politecnico-santiago-marino/topografia/altimetria-teoria-3-altimetria/11630556>>. [Consulta: noviembre de 2020].
16. OAKLEY, Stewart; SALGUERO, Louis. *Tratamiento de aguas residuales domésticas en Centroamérica. Un manual de experiencias, diseño, operación y sostenibilidad*. [en línea]. <<https://docplayer.es/15858668-Tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-en-centroamerica-un-manual-de-experiencias-diseno-operacion-y-sostenibilidad.html>>. [Consulta: abril de 2021].
17. Organización de Naciones Unidas, ONU. *Acerca de Guatemala*. [en línea]. <<https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/>>

general/como-se-distribuyeron-las-zonas-de-la-ciudad-de-guatemala/#:~:text=Posteriormente%2C%20en%20el%20a%C3%B1o%201972,zonas%20%2C%2022%20y%2023>. [Consulta: marzo de 2021].

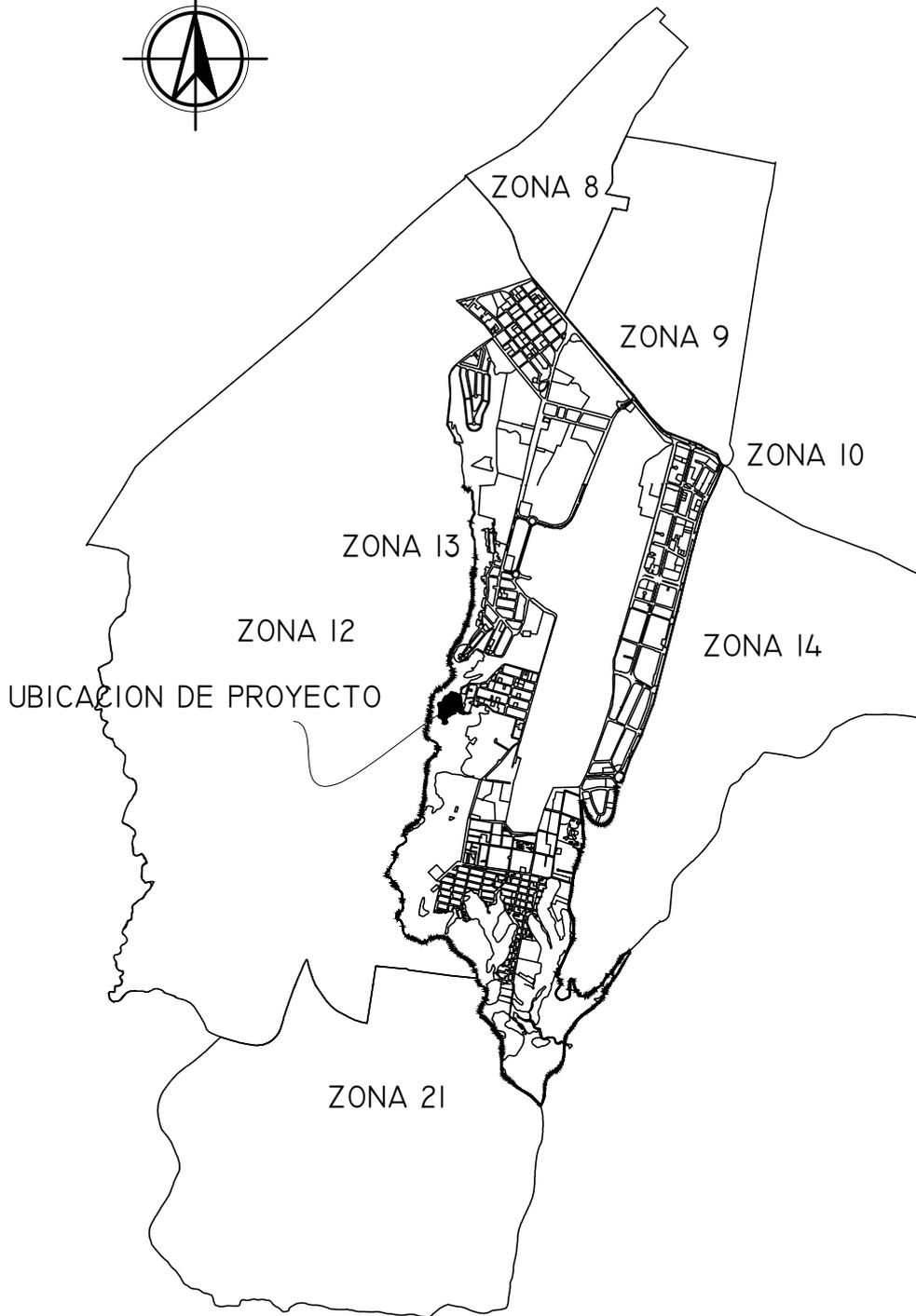
18. RAMÍREZ CERNA, Manuel Eduardo. *Evaluación del consumo de agua potable en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala en los años 2008-2010*. [en línea]. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3536_C.pdf>. [Consulta: marzo de 2021].
19. REYES, Adolfo. *Curvas horizontales y verticales*. [en línea]. <http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/areyes/apuntes/copy_of_CURVAS.pdf>. [Consulta: febrero de 2021].
20. RODRÍGUEZ OCHOA, Rogelio. *Proyecto geométrico del camino ramal a San Javier, Sonora*. [en línea]. <<http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=5440>>. [Consulta: febrero de 2021].
21. ROMERO ROJAS, Jairo. *Calidad del agua. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 3a ed. Colombia: Escuela Colombia de Ingenierías. 2010. 296 p.
22. SANTANA, Guillermo. *Evaluación de código sísmico en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas del Gobierno de la República de Guatemala. 1996. 13 p.
23. SCHWARTZ, Max. *Remoción de estreptococos fecales en la planta de tratamiento de aguas residuales Aurora II, estudio especial ERIS-USAC, 2003*. [en línea]. <<https://www.academia.edu/>

- 34711547/Remocion_de_Estreptococos_Fecales_Aurora_II>.
[Consulta: marzo de 2021].
24. SERMENT, Vinicio. *Pavimentos rígidos y flexibles ventajas y desventajas*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/175788220/Vinicio-Serment-Pavimentos-Rigidos-y-Flexibles-Ventajas-y-Desventajas>>. [Consulta: enero de 2021].
25. UNIDAD de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, UPGGR. *Atlas temático de la república de Guatemala*. [en línea]. <<https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>>. [Consulta: marzo de 2021].
26. VILLAGRÁN DE LEÓN, Juan Carlos. *Riesgo sísmico en Guatemala: Hacia una Respuesta Institucional por parte de la Facultad de Ciencias Médicas de la USAC*. [en línea]. <<http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0241/doc0241.pdf>>. [Consulta: marzo de 2021].
27. WESTERGAARD, Harold. *Computation of stresses in concrete roads*. [en línea]. <<https://cogripedia.com/westergaard-harold-m/>>. [Consulta: mayo de 2021].
28. ZAFECO. *Ensayos de laboratorio de suelos*. [en línea]. <<http://www.zafeco.nl/index.php/es/investigacion-del-suelo/ensayos-de-laboratorio-de-suelos>>. [Consulta: noviembre de 2020].

APÉNDICE

Apéndice 1. **Plano de localización**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.



PLANO DE LOCALIZACION

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 14°34'42.2"N 90°32'10.5"W
COORDENADAS UTM: 15P 14.578397, -90.536253



Universidad de San Carlos
de Guatemala

FACULTAD:
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN
FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE
DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS
SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA

DIRECCION: Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa, Diagonal 26 20-56,
Colonia Aurora II, Zona 13, Guatemala

ESTUDIANTE:
DULCE ESTEPHANÍA ESPAÑA PAZ

CARNET:
201612121

FECHA:
Septiembre 2021

ESCALA

SIN ESCALA

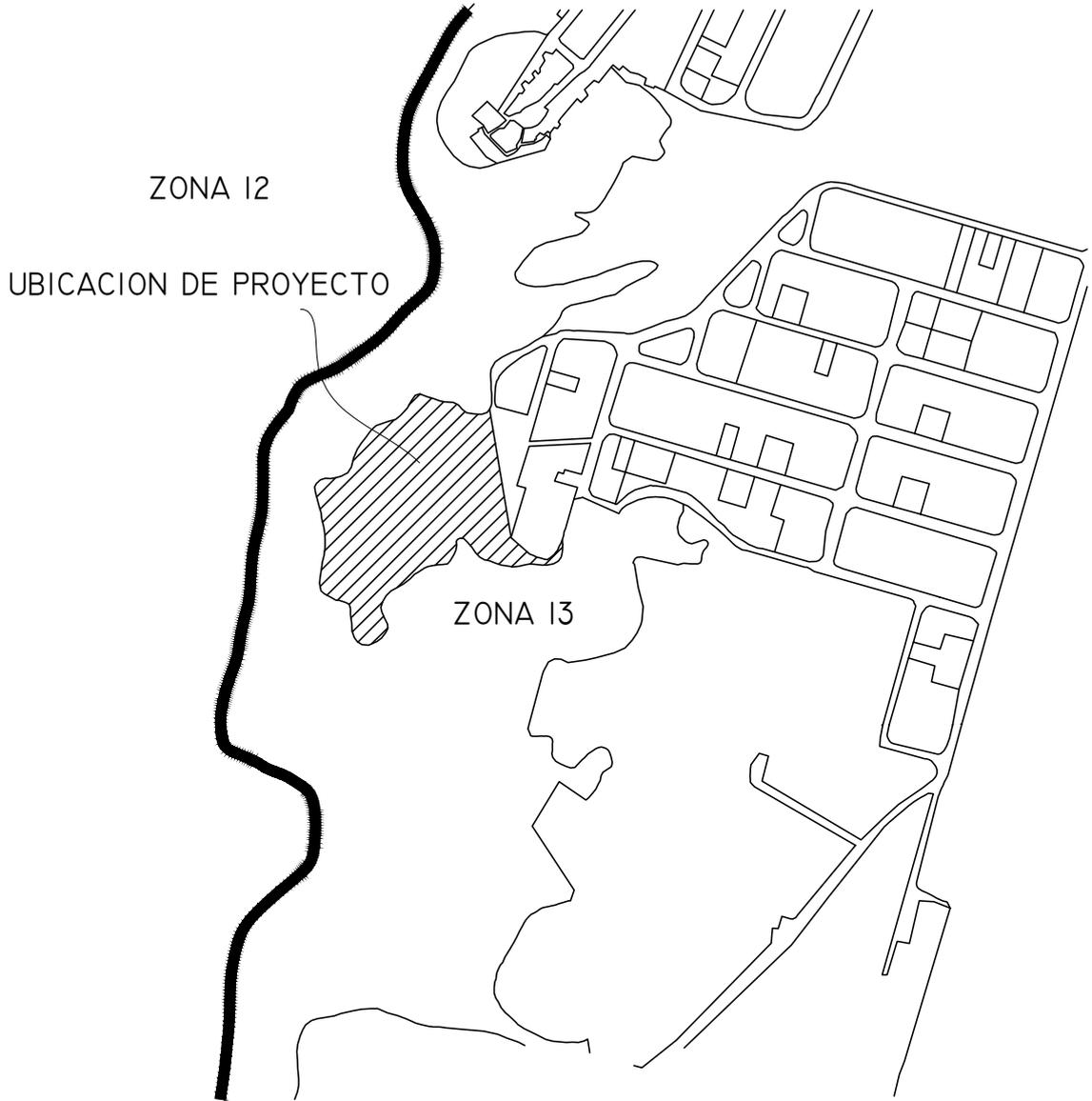
HOJA

1

2

Apéndice 2. **Plano de ubicación**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.



PLANO DE UBICACION

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 14°34'42.2"N 90°32'10.5"W
COORDENADAS UTM: 15P 14.578397, -90.536253



Universidad de San Carlos
de Guatemala

FACULTAD:
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN
FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE
DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS
SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA

DIRECCION: Planta Piloto Ing. Arturo Pazos Sosa, Diagonal 26 20-56,
Colonia Aurora II, Zona 13, Guatemala

ESTUDIANTE:
DULCE ESTEPHANÍA ESPAÑA PAZ

CARNET:
201612121

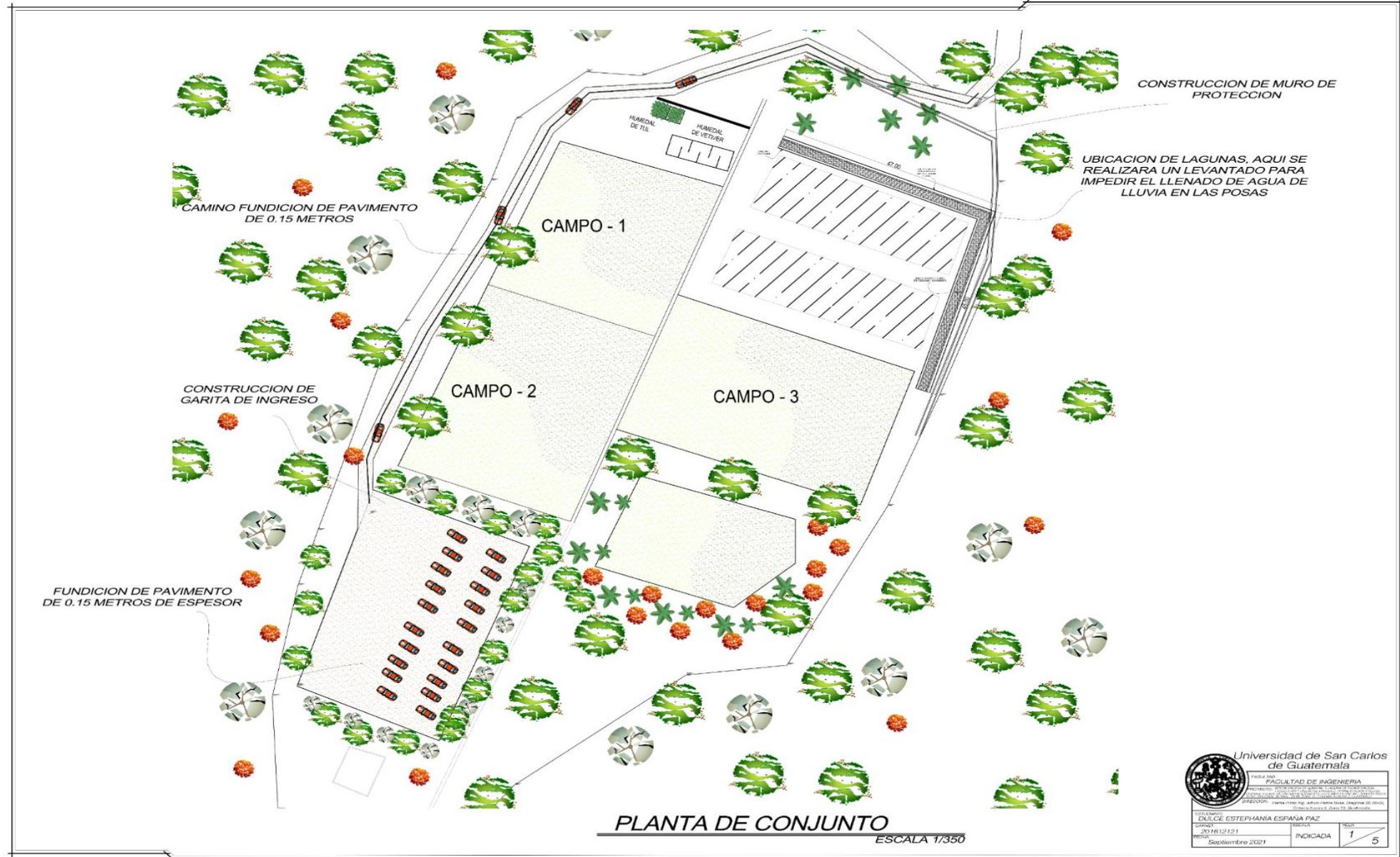
FECHA:
Septiembre 2021

ESCALA
SIN ESCALA

HOJA
2 / 2

Apéndice 3. **Planta de conjunto**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

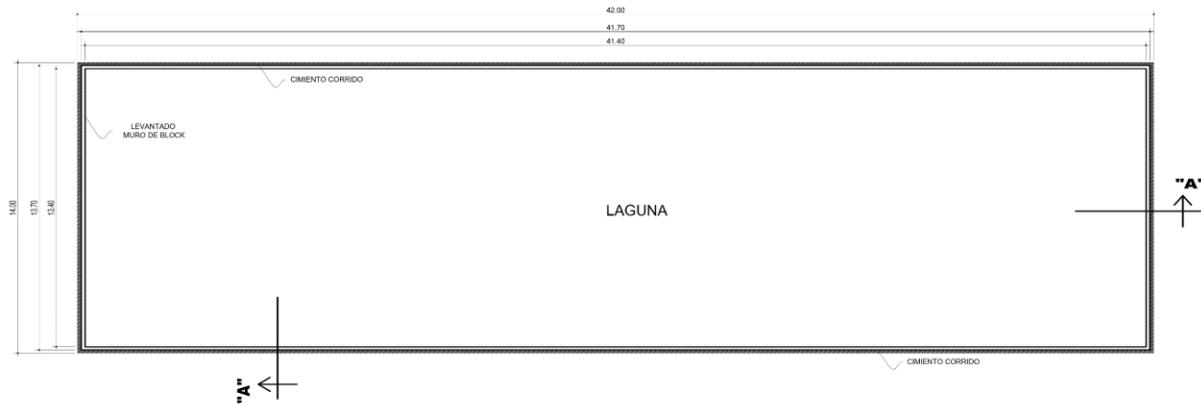


PLANTA DE CONJUNTO
 ESCALA 1/350

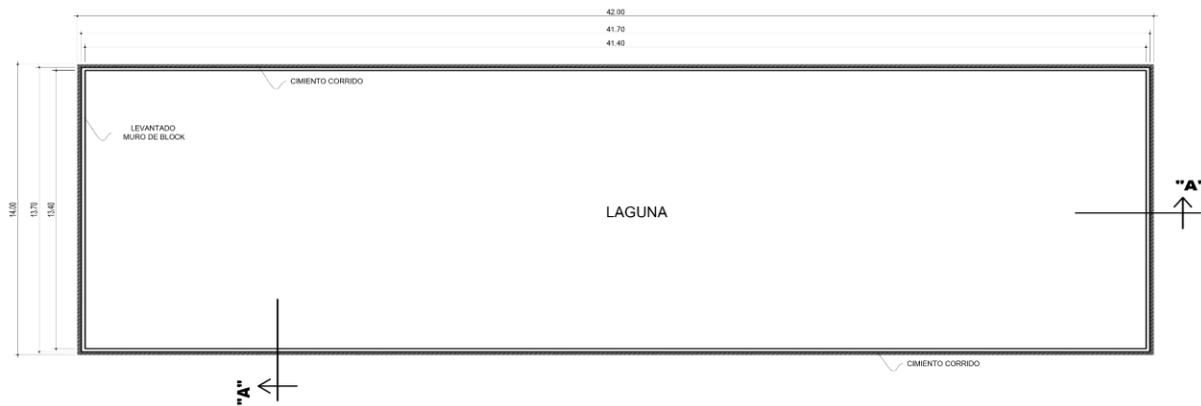

 Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
 CARRANZA, GUATEMALA, GUATEMALA
 DISEÑADOR: ESTEFANIA ESPANA PAZ
 FECHA: 20181219
 PROYECTO: Septiembre 2021
 INDICADA: 1 / 5

Apéndice 4. **Lagunas de estabilización facultativas y muro de contención**

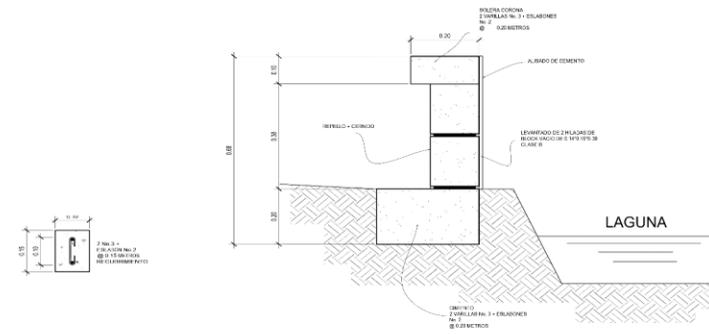
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.



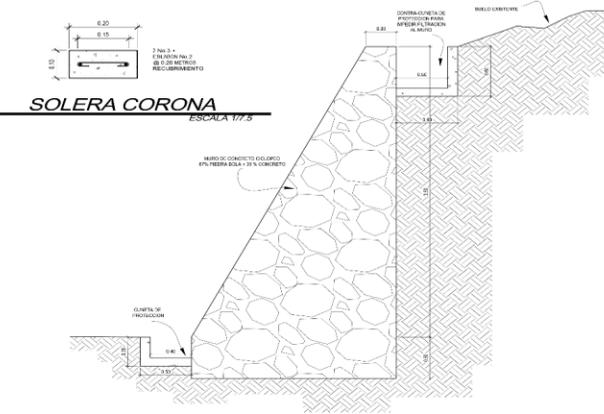
REVITALIZACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS -1
 ESCALA 1/100



REVITALIZACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS -2
 ESCALA 1/100

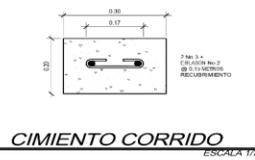


COSTILLA @ 2.50 METROS ESCALA 1/7.5 **CORTE TÍPICO DE MURO SOBRE LAGUNAS** ESCALA 1/10



SOLERA CORONA
 ESCALA 1/7.5

DETALLE DE MURO DE PROTECCION
 ESCALA 1/25



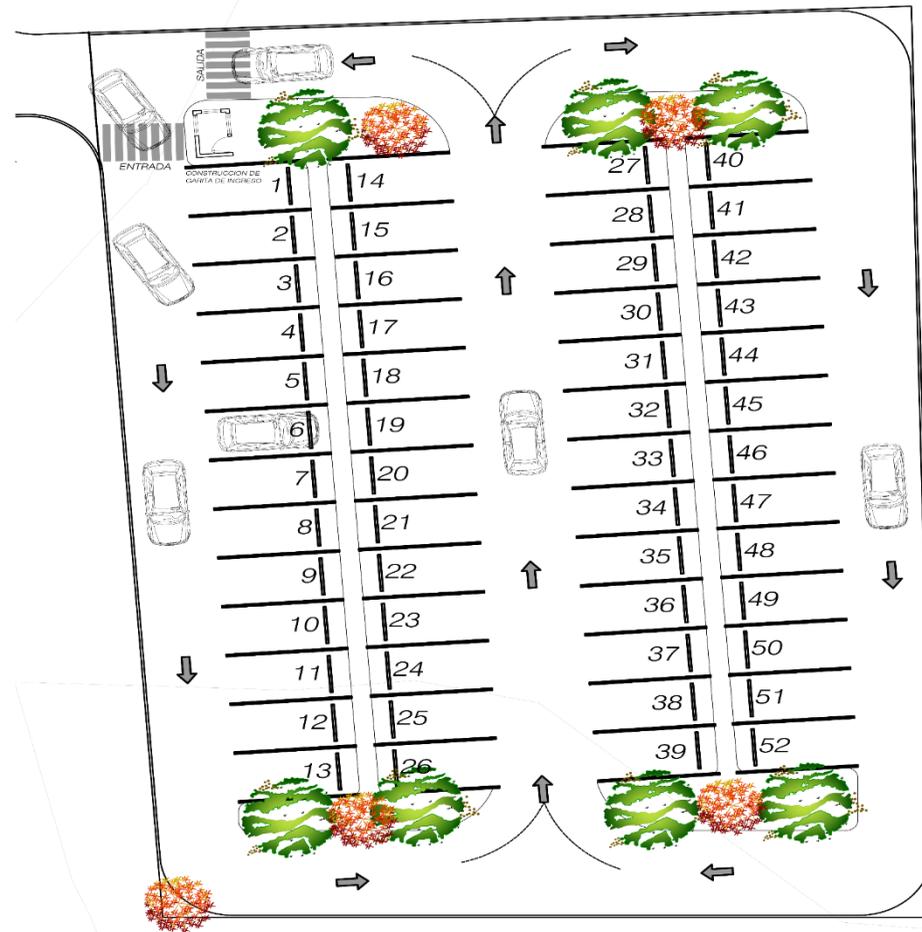
CIMENTO CORRIDO
 ESCALA 1/7.5

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERIA
 PROYECTO: RECONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA DE LA COMUNIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 DISEÑADOR: Ing. Dulce Estephania España Paz
 DIRECTOR: Ing. Arturo Muñoz Torres, Director de 2018-2020, Director de 2020-2021

| | |
|------------|--|
| PROYECTO: | RECONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA DE LA COMUNIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA |
| DISEÑADOR: | DULCE ESTEPHANIA ESPAÑA PAZ |
| DIRECTOR: | ARTURO MUÑOZ TORRES |
| FECHA: | SEPTIEMBRE 2021 |
| INDICADA: | 2 |
| PROYECTO: | 5 |

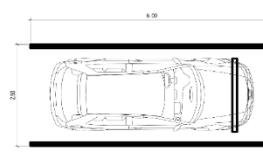
Apéndice 5. **Área de estacionamiento**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.



PLANTA DE PARQUEO
PLANTA DE CONJUNTO

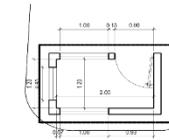
ESCALA 1/100



PLANTA PLAZA PARQUEO
ESCALA 1/50



ELEVACION FRONTAL
GABITA DE INGRESO/SALIDA



PLANTA ACOTADA
GABITA DE INGRESO/SALIDA

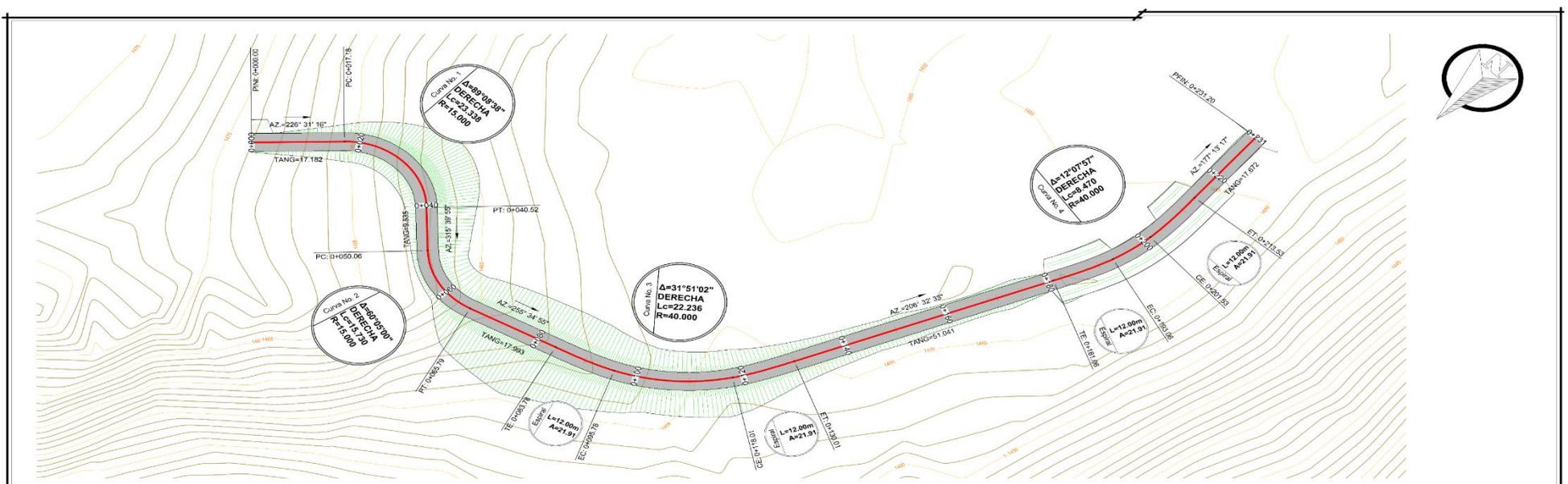


Universidad de San Carlos
de Guatemala

| | | | |
|--|--|---|--|
| FACULTAD DE INGENIERIA | | CARRERA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL | |
| ESTUDIANTE: DULCE ESTEFANIA ESPANA PAZ | | MATERIA: DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO | |
| CARRERA: 201612121 | | FECHA: Septiembre 2021 | |
| INDICADA | | PAGINA 3 DE 5 | |

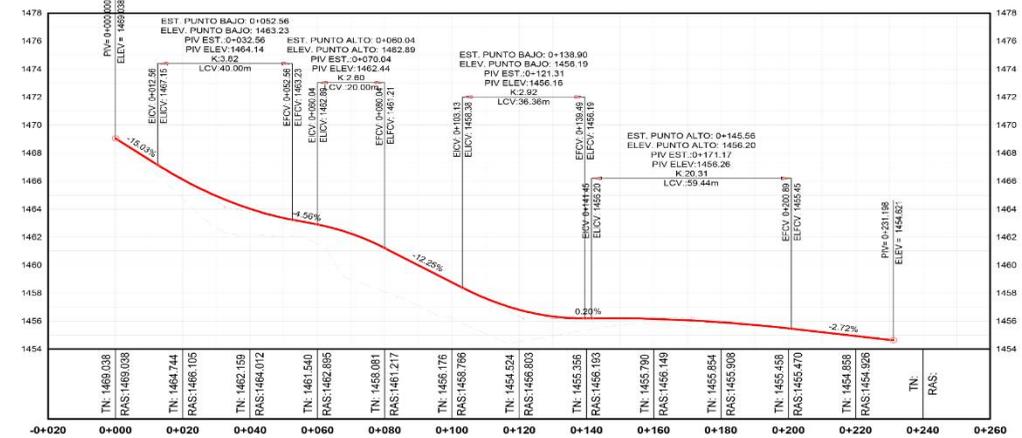
Apéndice 6. **Planta perfil del pavimento**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.



PLANTA

ESCALA 1/500



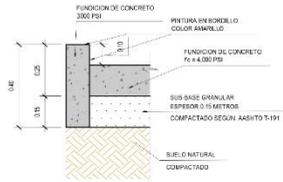
PERFIL

ESCALA H: 1/1,000
V: 1/200

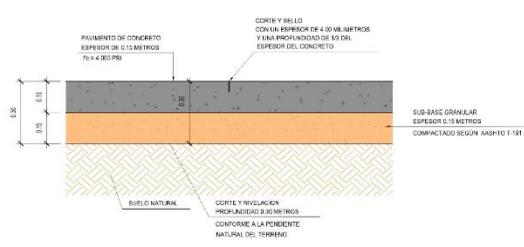

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TITULO DE INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL
 TALLER DE DISEÑO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
 TEMA: DISEÑO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
 ALUMNO: ESTEFANIA ESPANA PAZ
 FECHA: 20181212
 INDICADA: 4
 6

Apéndice 7. **Detalles del pavimento**

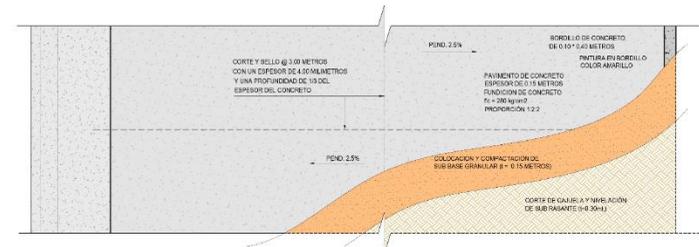
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.



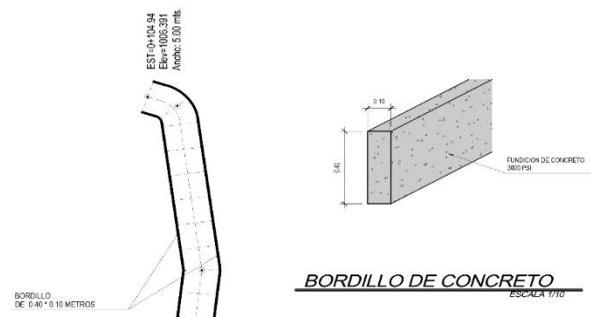
DETALLE BORDILLO
ESCALA 1/10



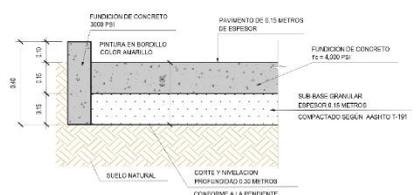
CORTE Y SELLO DE JUNTA
ESCALA 1/10



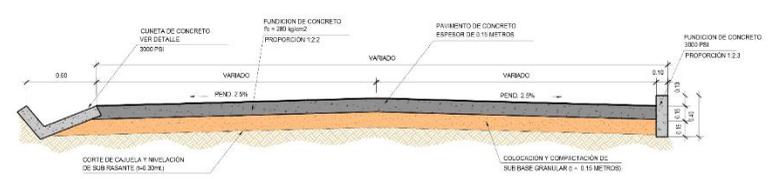
PLANTA DE PAVIMENTO
ESCALA 1/20



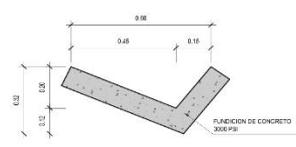
BORDILLO DE CONCRETO
ESCALA 1/10



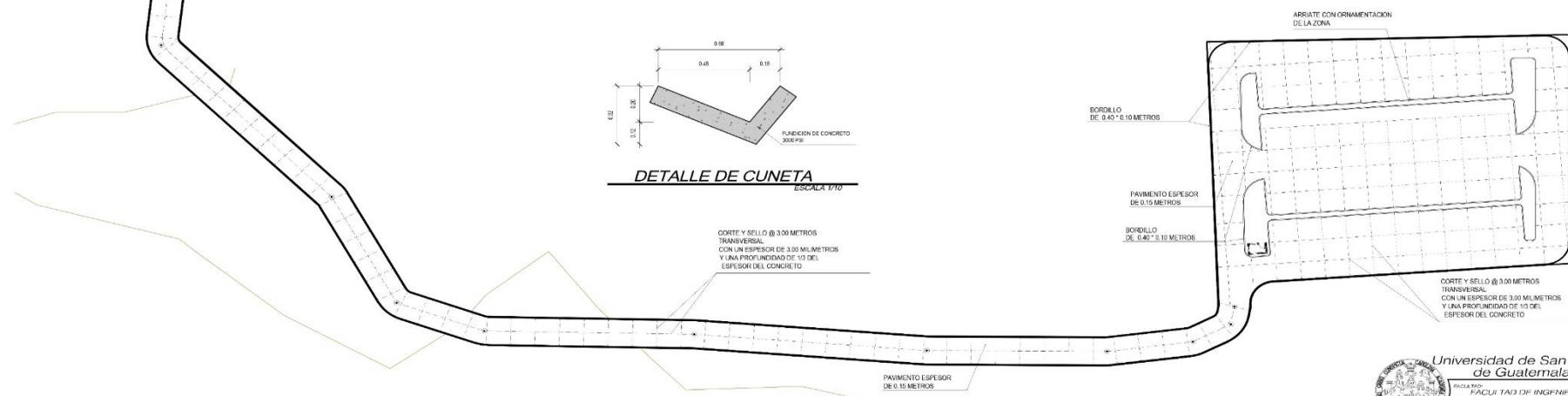
SUB-BASE GRANULAR
ESCALA 1/10



SECCION DE PAVIMENTO
ESCALA 1/20



DETALLE DE CUNETA
ESCALA 1/10



PAVIMENTACIÓN AL ACCESO DE LA PLANTA PILOTO
ESCALA 1/250

ARRIATEL CON ORNAMENTACION DE LA ZONA

BORDILLO DE 0.40" x 0.10 METROS

PAVIMENTO ESPESOR DE 0.15 METROS

BORDILLO DE 0.40" x 0.10 METROS

CORTE Y SELLO @ 3.00 METROS TRANSVERSAL CON UN ESPESOR DE 3.00 MILIMETROS Y UNA PROFUNDIDAD DE 1/3 DEL ESPESOR DEL CONCRETO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PAQUETIN DE INGENIERIA

ESTUDIOS DULCE ESTEFANIA ESPANA PAZ

PROYECTO: 201612121

FECHA: Octubre 2021

INDICADA

5

6

Apéndice 8. **Ingreso a la planta piloto**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Apéndice 9. Integración de costos

PRESUPUESTO POR RENGLONES

REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA

| No. | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | SUB TOTAL |
|---------------------------------|--|--------|----------|-----------------|-----------------------|
| 1 | TRABAJOS PRELIMINARES PAVIMENTO | M2 | 3683,63 | Q 0,73 | Q 2 680,26 |
| 2 | CORTE DE CAJUELA Y COMPACTACION DE SUB RASANTE PAVIMENTO (t=0.30m) | M2 | 2231,38 | Q 22,47 | Q 50 147,88 |
| 3 | COLOCACION Y COMPACTACION DE SUB BASE GRANULAR (t = 0.15 METROS) | M2 | 1911,68 | Q 50,73 | Q 96 973,74 |
| 4 | BORDILLO DE CONCRETO 3000 PSI DE 0.40 * 0.10 METROS | ML | 520,10 | Q 113,10 | Q 58 822,32 |
| 5 | CUNETA DE CONCRETO EN V DE 0.50 METROS 3000 PSI | ML | 237,82 | Q 194,13 | Q 46 167,23 |
| 6 | PAVIMENTO HIDRAULICO 4,000 PSI (t = 0.15 METROS) | M2 | 1911,68 | Q 326,10 | Q 623 405,70 |
| 7 | CORTE Y SELLO DE JUNTAS | ML | 1247,45 | Q 46,84 | Q 58 432,20 |
| 8 | PINTURA EN CENTRO DE PAVIMENTO Y DELIMITACIÓN DE VEHÍCULOS | ML | 455,10 | Q 18,46 | Q 8 401,19 |
| 9 | TOPES PARA VEHÍCULOS | UNIDAD | 52,00 | Q 127,50 | Q 6 630,00 |
| 10 | ÁREA VERDE / ORNAMENTACIÓN | M2 | 125,00 | Q 79,44 | Q 9 930,00 |
| 11 | MURO DE CONTENCIÓN DE CONCRETO CICLÓPEO | M3 | 462,30 | Q 1 019,05 | Q 471 106,57 |
| 12 | CUNETA Y CONTRACUNETA MURO DE CONTENCIÓN | ML | 178,22 | Q 287,49 | Q 51 237,23 |
| 13 | CIMIENTO CORRIDO DE 0.30 X 0.20 METROS | ML | 221,60 | Q 113,24 | Q 25 092,98 |
| 14 | COSTILLA DE 0.15 X 0.10 METROS @ 2.50 METROS | ML | 35,26 | Q 123,39 | Q 4 351,11 |
| 15 | LEVANTADO DE MURO DE BLOCK | M2 | 220,40 | Q 216,18 | Q 47 646,73 |
| 16 | SOLERA CORONA DE 0.10 X 0.20 METROS | ML | 221,60 | Q 83,61 | Q 18 528,50 |
| 17 | REPELLO + CERNIDO EN MURO Y LAGUNA | M2 | 744,06 | Q 66,20 | Q 49 255,11 |
| 18 | ALISADO DENTRO DE MURO DE LAGUNA | M2 | 105,21 | Q 73,97 | Q 7 782,76 |
| 19 | ZAPATA DE PORTÓN A PARQUEO | UNIDAD | 2,00 | Q 1 167,21 | Q 2 334,42 |
| 20 | COLUMNA DE 0.30 X 0.30 METROS | ML | 7,70 | Q 407,84 | Q 3 140,38 |
| 21 | PORTÓN METÁLICO | UNIDAD | 1,00 | Q 8 489,99 | Q 8 489,99 |
| 22 | CONSTRUCCIÓN DE CASETA | GLOBAL | 1,00 | Q 15 150,00 | Q 15 150,00 |
| 23 | LIMPIEZA FINAL | UNIDAD | 1,00 | Q 1 437,71 | Q 1 437,71 |
| COSTO TOTAL DEL PROYECTO | | | | | Q 1 667 144,01 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Precios unitarios

| |
|-------------------------------|
| PRESUPUESTO DESGLOSADO |
|-------------------------------|

DEEP

| |
|---|
| REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA |
|---|

| No.1 | TRABAJOS PRELIMINARES PAVIMENTO | | | |
|---|---------------------------------|----------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 3 683,63 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Clavo varias medidas | 10,00 | libra | Q 8,00 | Q 80,00 |
| Alquiler de equipo de topografía | 3,00 | días | Q 350,00 | Q 1 050,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 1 130,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Trazo y estaqueado | 155,71 | ml | Q 5,00 | Q 778,55 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 778,55 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 2 233,55 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 67,00 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 156,35 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 223,36 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 446,71 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 2 680,26 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 0,73 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 2 | CORTE DE CAJUELA Y COMPACTACION DE SUB RASANTE PAVIMENTO (t=0.30mt.) | | | |
|---|---|----------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 2 231,38 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL Y RENTA DE MAQUINARIA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| | | | Q - | Q - |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q - |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de camión | 5,00 | viaje | Q 325,00 | Q 1 625,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 1 625,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Corte de cajuela y nivelación de sub rasante (t=0.30m) | 669,42 | m3 | Q 60,00 | Q 40 164,90 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 40 164,90 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 41 789,90 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 1 253,69 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 2 925,30 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 4 178,99 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 8 357,98 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 50 147,88 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 22,47 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 3 | COLOCACION Y COMPACTACION DE SUB BASE GRANULAR (t = 0.15 METROS) | | | |
|--|--|----------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 1 911,68 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL Y RENTA DE MAQUINARIA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Base granular suelto | 358,44 | m3 | Q 125,00 | Q 44 805,04 |
| Alquiler de rodo tripulado | 10,00 | día | Q 475,00 | Q 4 750,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 49 555,04 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de camión | 30,00 | viaje | Q 325,00 | Q 9 750,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 9 750,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Colocación y compactación de sub base granular (t = 0.15 metros) | 358,44 | m3 | Q 60,00 | Q 21 506,42 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 21 506,42 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 80 811,45 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 2 424,34 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 5 656,81 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 8 081,15 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 16 162,30 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 96 973,75 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 50,73 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 4 | BORDILLO DE CONCRETO 3000 PSI DE 0.40 * 0.10 METROS | | | |
|---|---|--------|-----------------|-------------|
| | CANTIDAD | 520,10 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 208 | saco | Q 78,00 | Q 16 227,12 |
| Arena de río | 13,52 | m3 | Q 150,00 | Q 2 028,39 |
| Piedrín triturado de 1/2" | 13,52 | m3 | Q 225,00 | Q 3 042,59 |
| Costanera de 8"x2"x1/16" | 10,00 | unidad | Q 300,00 | Q 3 000,00 |
| Clavo varias medidas | 2,00 | libra | Q 8,00 | Q 16,00 |
| | | | | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 24 314,10 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de camión | 4,00 | viaje | Q 325,00 | Q 1 300,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 1 300,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Encofrado/desencofrado | 520,10 | ml | Q 25,00 | Q 13 002,50 |
| Hacer/colocar concreto | 20,80 | m3 | Q 375,00 | Q 7 801,50 |
| Acabado en bordillo | 520,10 | ml | Q 5,00 | Q 2 600,50 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 23 404,50 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 49 018,60 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 1 470,55 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 3 431,31 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 4 901,86 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 9 803,72 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 58 822,32 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 113,10 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 5 | | CUNETA DE CONCRETO EN V DE 0.50 METROS 3000 PSI | | | |
|---|-----------------|---|-----------------|-----------|------------------|
| | CANTIDAD | 237,82 | UNIDAD | ML | |
| MATERIAL | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 195 | saco | Q 78,00 | Q | 15 248,07 |
| Arena de río | 12,71 | m3 | Q 150,00 | Q | 1 906,01 |
| Piedrín triturado de 1/2" | 12,71 | m3 | Q 225,00 | Q | 2 859,01 |
| Clavo varias medidas | 2,00 | libra | Q 8,00 | Q | 16,00 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 30,00 | tabla | Q 10,00 | Q | 300,00 |
| | | | | Q | - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q | 20 329,09 |
| TRANSPORTE | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| Viaje de camión | 4,00 | viaje | Q 325,00 | Q | 1 300,00 |
| | | | Q - | Q | - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q | 1 300,00 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| Encofrado/desencofrado | 237,82 | ml | Q 30,00 | Q | 7 134,60 |
| Hacer/colocar concreto | 19,55 | m3 | Q 375,00 | Q | 7 330,80 |
| Acabado en cuneta | 237,82 | ml | Q 10,00 | Q | 2 378,20 |
| | | | Q - | Q | - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q | 16 843,60 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q | 38 472,69 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q | 1 154,18 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q | 2 693,09 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q | 3 847,27 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q | 7 694,54 |
| COSTO TOTAL | | | | Q | 46 167,23 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q | 194,13 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 6 | PAVIMENTO HIDRAULICO 4,000 PSI (t = 0.15 METROS) | | | |
|---|--|----------|-----------------|---------------------|
| | CANTIDAD | 1 911,68 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 2868 | saco | Q 78,00 | Q 223 666,74 |
| Arena de río | 215 | m3 | Q 150,00 | Q 32 259,63 |
| Piedrín triturado de 1/2" | 215 | m3 | Q 225,00 | Q 48 389,44 |
| Costanera de 8"x2"x1/16" | 20,00 | unidad | Q 300,00 | Q 6 000,00 |
| Alambre de amarre | 8,50 | libra | Q 8,00 | Q 68,00 |
| Antisol | 638,00 | litros | Q 35,00 | Q 22 330,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 332 713,81 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de camión | 38,00 | viaje | Q 325,00 | Q 12 350,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 12 350,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Encofrado/desencofrado | 1 911,68 | m2 | Q 20,00 | Q 38 233,63 |
| Hacer/colocar concreto | 286,75 | m3 | Q 375,00 | Q 107 532,08 |
| Acabado en pavimento | 1 911,68 | m2 | Q 10,00 | Q 19 116,82 |
| Rociar pavimento | 1 911,68 | m2 | Q 5,00 | Q 9 558,41 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 174 440,94 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 519 504,75 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 15 585,14 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 36 365,34 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 51 950,48 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 103 900,96 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 623 405,71 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 326,10 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 7 | | CORTE Y SELLO DE JUNTAS | | |
|---|----------|-------------------------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 1 247,45 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Alquiler de disco para cortar | 1,00 | unidad | Q 550,00 | Q 550,00 |
| Sello de poliuretano | 21,00 | galón | Q 495,00 | Q 10 395,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 10 945,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Corte y sello de juntas | 1 247,45 | ml | Q 30,00 | Q 37 423,50 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 37 423,50 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 48 693,50 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 1 460,80 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 3 408,55 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 4 869,35 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 9 738,70 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 58 432,20 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 46,84 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 8 | PINTURA EN CENTRO DE PAVIMENTO Y DELIMITACIÓN DE VEHÍCULOS | | | |
|---|--|--------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 455,10 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Pintura color amarillo | 3,00 | galón | Q 375,00 | Q 1 125,00 |
| Pintura color blanco | 2,00 | galón | Q 375,00 | Q 750,00 |
| Alquiler equipo para pintar | 1,00 | unidad | Q 250,00 | Q 250,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 2 125,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Aplicación de pintura centro de pavimento camino | 195,10 | ml | Q 10,00 | Q 1 951,00 |
| Aplicación de pintura para delimitar estacionamiento | 260,00 | ml | Q 10,00 | Q 2 600,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 4 550,99 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 7 000,99 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 210,02 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 490,07 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 700,10 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 1 400,19 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 8 401,18 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 18,46 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 9 | TOPES PARA VEHÍCULOS | | | |
|---|----------------------|--------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 52,00 | UNIDAD | UNIDAD |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Topes prefabricados para vehículos | 52,00 | unidad | Q 75,00 | Q 3 900,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 3 900,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Instalación de topes de vehículos | 52,00 | unidad | Q 25,00 | Q 1 300,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 1 300,00 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 5 525,00 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 165,74 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 386,75 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 552,50 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 1 104,99 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 6 629,99 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 127,50 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 10 | ÁREA VERDE / ORNAMENTACIÓN | | | |
|---|----------------------------|--------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 125,00 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Árboles del lugar | 13,00 | unidad | Q 275,00 | Q 3 575,00 |
| Flores del lugar | 20,00 | unidad | Q 50,00 | Q 1 000,00 |
| Tierra preparada | 1,00 | costal | Q 250,00 | Q 250,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 4 825,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Preparación de área verde / ornamentación | 125,00 | m2 | Q 25,00 | Q 3 125,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 3 125,00 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 8 275,00 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 248,24 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 579,25 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 827,50 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 1 654,99 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 9 929,99 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 79,44 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 11 | | MURO DE CONTENCIÓN DE CONCRETO CICLÓPEO | | | |
|---|----------|---|-----------------|-------|-------------------|
| | CANTIDAD | 462,30 | UNIDAD | M3 | |
| MATERIAL | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| Piedra bola | 309,74 | m3 | Q 325,00 | Q | 100 665,83 |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 1526 | saco | Q 78,00 | Q | 118 996,02 |
| Arena de río | 114 | m3 | Q 150,00 | Q | 17 162,89 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 114 | m3 | Q 225,00 | Q | 25 744,33 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 120,00 | tabla | Q 10,00 | Q | 1 200,00 |
| Paral de 4"*3"* 9 pies (alquiler) | 100,00 | paral | Q 10,00 | Q | 1 000,00 |
| Clavos diferentes medidas | 25,00 | libra | Q 8,00 | Q | 200,00 |
| Alambre de amarre | 25,00 | libra | Q 8,00 | Q | 200,00 |
| | | | Q - | Q | - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q | 265 169,07 |
| TRANSPORTE | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| Viaje de pickup | 90,00 | viaje | Q 325,00 | Q | 29 250,00 |
| | | | Q - | Q | - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q | 29 250,00 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| Colocar piedra bola | 309,74 | m3 | Q 100,00 | Q | 30 974,10 |
| Encofrado/desencofrado | 92,00 | ml | Q 150,00 | Q | 13 800,00 |
| Hacer/colocar concreto | 152,56 | m3 | Q 350,00 | Q | 53 395,65 |
| | | | Q - | Q | - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q | 98 169,74 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q | 392 588,81 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q | 11 777,66 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q | 27 481,22 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q | 39 258,89 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q | 78 517,77 |
| COSTO TOTAL | | | | Q | 471 106,58 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q | 1 019,05 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 12 | CUNETETA Y CONTRACUNETETA MURO DE CONTENCIÓN | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 178,22 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 166 | saco | Q 78,00 | Q 12 937,47 |
| Arena de río | 12 | m3 | Q 150,00 | Q 1 865,98 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 12 | m3 | Q 225,00 | Q 2 798,97 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 60,00 | tabla | Q 10,00 | Q 600,00 |
| Paral de 4"*3"* 9 pies (alquiler) | 40,00 | paral | Q 10,00 | Q 400,00 |
| Clavos diferentes medidas | 15,00 | libra | Q 8,00 | Q 120,00 |
| Alambre de amarre | 15,00 | libra | Q 8,00 | Q 120,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 18 842,42 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 6,00 | viaje | Q 325,00 | Q 1 950,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 1 950,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Excavación | 92,00 | ml | Q 25,00 | Q 2 300,00 |
| Encofrado/desencofrado | 92,00 | ml | Q 150,00 | Q 13 800,00 |
| Hacer/colocar concreto | 16,59 | m3 | Q 350,00 | Q 5 805,28 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 21 905,27 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 42 697,69 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 1 280,93 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 2 988,84 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 4 269,77 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 8 539,54 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 51 237,23 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 287,49 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 13 | CIMIENTO CORRIDO DE 0.30 X 0.20 METROS | | | |
|---|--|---------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 221,60 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 55 | saco | Q 78,00 | Q 4 305,60 |
| Arena de río | 4 | m3 | Q 150,00 | Q 621,00 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 4 | m3 | Q 225,00 | Q 931,50 |
| Hierro No. 3 grado 40 | 74 | varilla | Q 47,00 | Q 3 471,73 |
| Hierro No. 2 | 55 | varilla | Q 10,00 | Q 554,00 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 40,00 | tabla | Q 10,00 | Q 400,00 |
| Paral de 4"*3"* 9 pies (alquiler) | 20,00 | paral | Q 10,00 | Q 200,00 |
| Clavos diferentes medidas | 10,00 | libra | Q 8,00 | Q 80,00 |
| Alambre de amarre | 10,00 | libra | Q 8,00 | Q 80,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 10 643,83 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 3,00 | viaje | Q 325,00 | Q 975,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 975,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Excavación | 92,00 | ml | Q 20,00 | Q 1 840,00 |
| Armado de estructura | 92,00 | ml | Q 25,00 | Q 2 300,00 |
| Encofrado/desencofrado | 92,00 | ml | Q 35,00 | Q 3 220,00 |
| Hacer/colocar concreto | 5,52 | m3 | Q 350,00 | Q 1 932,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 9 291,99 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 20 910,82 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 627,32 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 1 463,76 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 2 091,09 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 4 182,17 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 25 092,99 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 113,24 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 14 | COSTILLA DE 0.15 X 0.10 METROS @ 2.50 METROS | | | |
|---|--|---------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 35,26 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 5 | saco | Q 78,00 | Q 412,59 |
| Arena de río | 0 | m3 | Q 150,00 | Q 59,51 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 0 | m3 | Q 225,00 | Q 89,26 |
| Hierro No. 3 grado 40 | 12 | varilla | Q 47,00 | Q 552,47 |
| Hierro No. 2 | 6 | varilla | Q 10,00 | Q 58,77 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 10,00 | tabla | Q 10,00 | Q 100,00 |
| Clavos diferentes medidas | 5,00 | libra | Q 8,00 | Q 40,00 |
| Alambre de amarre | 5,00 | libra | Q 8,00 | Q 40,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 1 352,60 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Armado de estructura | 35,26 | ml | Q 20,00 | Q 705,28 |
| Encofrado/desencofrado | 35,26 | ml | Q 30,00 | Q 1 057,92 |
| Hacer/colocar concreto | 0,53 | m3 | Q 350,00 | Q 185,14 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 1 948,33 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 3 625,93 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 108,77 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 253,82 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 362,60 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 725,19 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 4 351,12 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 123,39 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 15 | LEVANTADO DE MURO DE BLOCK | | | |
|---|----------------------------|--------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 220,40 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 79 | saco | Q 78,00 | Q 6 188,83 |
| Arena de río | 17 | m3 | Q 150,00 | Q 2 529,09 |
| Block pomes clase B de 14*19*39 metros | 2892,75 | unidad | Q 6,00 | Q 17 356,50 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 26 074,42 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 6,00 | viaje | Q 325,00 | Q 1 950,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 1 950,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Hacer sabieta para pegado de block | 6,61 | m3 | Q 100,00 | Q 661,20 |
| Levantado de muro | 220,40 | m2 | Q 50,00 | Q 11 020,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 11 681,19 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 39 705,61 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 1 191,16 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 2 779,40 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 3 970,57 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 7 941,13 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 47 646,74 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 216,18 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 16 | SOLERA CORONA DE 0.10 X 0.20 METROS | | | |
|---|-------------------------------------|---------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 221,60 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 18 | saco | Q 78,00 | Q 1 435,20 |
| Arena de río | 1 | m3 | Q 150,00 | Q 207,00 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 1 | m3 | Q 225,00 | Q 310,50 |
| Hierro No. 3 grado 40 | 74 | varilla | Q 47,00 | Q 3 471,73 |
| Hierro No. 2 | 28 | varilla | Q 10,00 | Q 277,00 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 40,00 | tabla | Q 10,00 | Q 400,00 |
| Paral de 4"*3"* 9 pies (alquiler) | 20,00 | paral | Q 10,00 | Q 200,00 |
| Clavos diferentes medidas | 10,00 | libra | Q 8,00 | Q 80,00 |
| Alambre de amarre | 10,00 | libra | Q 8,00 | Q 80,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 6 461,43 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 3,00 | viaje | Q 325,00 | Q 975,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 975,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Excavación | 92,00 | ml | Q 20,00 | Q 1 840,00 |
| Armado de estructura | 92,00 | ml | Q 25,00 | Q 2 300,00 |
| Encofrado/dsencofrado | 92,00 | ml | Q 35,00 | Q 3 220,00 |
| Hacer/colocar concreto | 1,84 | m3 | Q 350,00 | Q 644,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 8 003,99 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 15 440,42 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 463,21 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 1 080,83 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 1 544,05 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 3 088,09 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 18 528,51 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 83,61 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 17 | REPELLO + CERNIDO EN MURO Y LAGUNA | | | |
|---|------------------------------------|--------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 744,06 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 89,29 | saco | Q 78,00 | Q 6 964,40 |
| Arena de río | 24,89 | m3 | Q 125,00 | Q 3 111,10 |
| Cal hidratada de primera | 53,57 | bolsa | Q 30,00 | Q 1 607,17 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 11 682,67 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 3,00 | viaje | Q 425,00 | Q 1 275,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 1 275,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Hacer mezcla de repello | 7,44 | m3 | Q 200,00 | Q 1 488,12 |
| Hacer mezcla de cernido | 3,72 | m3 | Q 150,00 | Q 558,05 |
| Aplicación en muros | 744,06 | m2 | Q 35,00 | Q 26 042,10 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 28 088,26 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 41 045,93 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 1 231,37 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 2 873,22 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 4 104,60 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 8 209,19 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 49 255,12 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 66,20 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 18 | ALISADO DENTRO DE MURO DE LAGUNA | | | |
|---|----------------------------------|--------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 105,21 | UNIDAD | M2 |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 12,63 | SACO | Q 78,00 | Q 984,77 |
| Arena de río | 3,52 | M3 | Q 150,00 | Q 527,89 |
| | | | Q - | Q - |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 1 512,66 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de materiales | 3,00 | viaje | Q 325,00 | Q 975,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 975,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Hacer mezcla para alisado de cemento | 1,58 | m3 | Q 200,00 | Q 315,63 |
| Aplicación en muro de laguna interior | 105,21 | m2 | Q 35,00 | Q 3 682,35 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 3 997,97 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 6 485,63 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 194,56 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 454,00 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 648,57 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 1 297,13 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 7 782,76 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 73,97 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 19 | ZAPATA DE PORTÓN A PARQUEO | | | |
|---|----------------------------|---------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 2,00 | UNIDAD | UNIDAD |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 10 | saco | Q 78,00 | Q 764,40 |
| Arena de río | 1 | m3 | Q 150,00 | Q 110,25 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 1 | m3 | Q 225,00 | Q 165,38 |
| Hierro No. 3 grado 40 | 1 | varilla | Q 47,00 | Q 31,33 |
| Hierro No. 2 | 0 | varilla | Q 10,00 | Q 2,50 |
| Alambre de amarre | 2,00 | libra | Q 8,00 | Q 16,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 1 089,86 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 0,50 | viaje | Q 325,00 | Q 162,50 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 162,50 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Excavación | 2,00 | unidad | Q 50,00 | Q 100,00 |
| Armado de estructura | 2,00 | unidad | Q 75,00 | Q 150,00 |
| Encofrado/desencofrado | 2,00 | unidad | Q 50,00 | Q 100,00 |
| Hacer/colocar concreto | 0,98 | m3 | Q 350,00 | Q 343,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 692,99 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 1 945,35 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 58,36 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 136,18 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 194,54 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 389,08 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 2 334,43 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 1 167,22 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 20 | COLUMNA DE 0.30 X 0.30 METROS | | | |
|---|-------------------------------|---------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 7,70 | UNIDAD | ML |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Cemento tipo Portland 4000 PSI | 7 | saco | Q 78,00 | Q 540,54 |
| Arena de río | 1 | m3 | Q 150,00 | Q 77,96 |
| Piedrín triturado de 3/4" | 1 | m3 | Q 225,00 | Q 116,94 |
| Hierro No. 4 grado 40 | 10 | varilla | Q 60,00 | Q 616,00 |
| Hierro No. 2 | 15 | varilla | Q 10,00 | Q 154,00 |
| Tabla para formaleta 1"x12"x 9' (alquiler) | 4,00 | tabla | Q 10,00 | Q 40,00 |
| Paral de 4"*3"* 9 pies (alquiler) | 1,00 | paral | Q 10,00 | Q 10,00 |
| Clavos diferentes medidas | 2,00 | libra | Q 8,00 | Q 16,00 |
| Alambre de amarre | 2,00 | libra | Q 8,00 | Q 16,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 1 587,44 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Armado de estructura | 7,70 | ml | Q 25,00 | Q 192,50 |
| Encofrado/desencofrado | 7,70 | ml | Q 35,00 | Q 269,50 |
| Hacer/colocar concreto | 0,69 | m3 | Q 350,00 | Q 242,55 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 704,54 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 2 616,98 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 78,50 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 183,19 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 261,70 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 523,39 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 3 140,37 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 407,84 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 21 | PORTÓN METÁLICO | | | |
|---|-----------------|--------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 1,00 | UNIDAD | UNIDAD |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Portón metálico de 2 hojas | 1 | unidad | Q 6 000,00 | Q 6 000,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 6 000,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 1,00 | viaje | Q 325,00 | Q 325,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 325,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Instalación de portón metálico | 1,00 | unidad | Q 750,00 | Q 750,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 749,99 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 7 074,99 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 212,24 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 495,25 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 707,50 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 1 414,99 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 8 489,98 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 8 489,98 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 22 | CONSTRUCCIÓN DE CASETA | | | |
|---|------------------------|--------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | 1,00 | UNIDAD | GLOBAL |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Materiales de construcción | 1 | global | Q 6 500,00 | Q 6 500,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q 6 500,00 |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de pickup | 5,00 | viaje | Q 325,00 | Q 1 625,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 1 625,00 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Mano de obra construcción de garita | 1,00 | unidad | Q 4 500,00 | Q 4 500,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 4 500,00 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 12 625,00 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 378,74 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 883,75 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 1 262,50 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 2 524,99 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 15 149,99 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 15 149,99 |

Continuación del apéndice 10.

| No. 23 | LIMPIEZA FINAL | | | |
|---|----------------|--------|-----------------|-------------------|
| | CANTIDAD | 1,00 | UNIDAD | UNIDAD |
| MATERIAL | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| | | | | Q - |
| | | | | Q - |
| <i>TOTAL MATERIALES</i> | | | | Q - |
| TRANSPORTE | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Viaje de camión | 1,00 | viaje | Q 323,09 | Q 323,09 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL TRANSPORTE</i> | | | | Q 323,09 |
| MANO DE OBRA | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
| Limpieza final | 1,00 | global | Q 250,00 | Q 250,00 |
| Extracción de materiales de desperdicio | 25,00 | m3 | Q 25,00 | Q 625,00 |
| | | | Q - | Q - |
| <i>TOTAL MANO DE OBRA</i> | | | | Q 875,00 |
| COSTOS DIRECTOS (Materiales, transporte, Mano de obra) | | | | Q 1 198,09 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| Imprevistos (3% costos parciales) | | | | Q 35,94 |
| Supervisión (7% costos parciales) | | | | Q 83,87 |
| Utilidades (10% costos parciales) | | | | Q 119,81 |
| Total Costos Indirectos | | | | Q 239,62 |
| COSTO TOTAL | | | | Q 1 437,71 |
| COSTO UNITARIO | | | | Q 1 437,71 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Cronograma de avance físico y financiero

| CRONOGRAMA DE AVANCE FÍSICO Y FINANCIERO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|--------|-------------|---|---|---|-------------|---|---|---|---------------|---|---|---|---------------|---|---|---|-----------------------|----------------|--------|
| REVITALIZACIÓN DE HUMEDAL Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA Y DISEÑO DE PARQUEO, PAVIMENTACIÓN Y RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA PILOTO ING. ARTURO PAZOS SOSA, DIAGONAL 26 FINAL, 20-56, ZONA 13, COLONIA AURORA II, GUATEMALA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | MES 1 | | | | MES 2 | | | | MES 3 | | | | MES 4 | | | | MONTO / RENGLÓN | % | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| 1 | TRABAJOS PRELIMINARES PAVIMENTO | 3683,63 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 2 680,26 | 0,16% |
| 2 | CORTE DE CAJUELA Y COMPACTACION DE SUB RASANTE PAVIMENTO (t=0.30mt.) | 2231,38 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 50 147,88 | 3,01% |
| 3 | COLOCACION Y COMPACTACION DE SUB BASE GRANULAR (t = 0.15 METROS) | 1911,68 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 96 973,74 | 5,82% |
| 4 | BORDILLO DE CONCRETO 3000 PSI DE 0.40 * 0.10 METROS | 520,10 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 58 822,32 | 3,53% |
| 5 | CUNETETA DE CONCRETO EN V DE 0.50 METROS 3000 PSI | 237,82 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 46 167,23 | 2,77% |
| 6 | PAVIMENTO HIDRAULICO 4,000 PSI (t = 0.15 METROS) | 1911,68 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 623 405,70 | 37,39% |
| 7 | CORTE Y SELLO DE JUNTAS | 1247,45 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 58 432,20 | 3,50% |
| 8 | PINTURA EN CENTRO DE PAVIMENTO Y DELIMITACIÓN DE VEHÍCULOS | 455,10 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 8 401,19 | 0,50% |
| 9 | TOPES PARA VEHÍCULOS | 52,00 | UNIDAD | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 6 630,00 | 0,40% |
| 10 | ÁREA VERDE / ORNAMENTACIÓN | 125,00 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 9 930,00 | 0,60% |
| 11 | MURO DE CONTENCIÓN DE CONCRETO CICLÓPEO | 462,30 | M3 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 471 106,57 | 28,26% |
| 12 | CUNETETA Y CONTRACUNETETA MURO DE CONTENCIÓN | 178,22 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 51 237,23 | 3,07% |
| 13 | CIMIENTO CORRIDO DE 0.30 X 0.20 METROS | 221,60 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 25 092,98 | 1,51% |
| 14 | COSTILLA DE 0.15 X 0.10 METROS @ 2.50 METROS | 35,26 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 4 351,11 | 0,26% |
| 15 | LEVANTADO DE MURO DE BLOCK | 220,40 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 47 646,73 | 2,86% |
| 16 | SOLERA CORONA DE 0.10 X 0.20 METROS | 221,60 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 18 528,50 | 1,11% |
| 17 | REPELLO + CERNIDO EN MURO Y LAGUNA | 744,06 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 49 255,11 | 2,95% |
| 18 | ALISADO DENTRO DE MURO DE LAGUNA | 105,21 | M2 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 7 782,76 | 0,47% |
| 19 | ZAPATA DE PORTÓN A PARQUEO | 2,00 | UNIDAD | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 2 334,42 | 0,14% |
| 20 | COLUMNA DE 0.30 X 0.30 METROS | 7,70 | ML | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 3 140,38 | 0,19% |
| 21 | PORTÓN METÁLICO | 1,00 | UNIDAD | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 8 489,99 | 0,51% |
| 22 | CONSTRUCCIÓN DE CASETA | 1,00 | GLOBAL | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 15 150,00 | 0,91% |
| 23 | LIMPIEZA FINAL | 1,00 | UNIDAD | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | Q | 1 437,71 | 0,09% |
| PORCENTAJE MENSUAL | | | | 25,00% | | | | 25,00% | | | | 25,00% | | | | 25,00% | | | | Q 1 667 144,01 | 100,00% | |
| PORCENTAJE MENSUAL ACUMULADO | | | | 25,00% | | | | 50,00% | | | | 75,00% | | | | 100,00% | | | | | | |
| INVERSIÓN MENSUAL | | | | Q416 786,00 | | | | Q416 786,00 | | | | Q416 786,00 | | | | Q416 786,00 | | | | | | |
| INVERSIÓN MENSUAL ACUMULADA | | | | Q416 786,00 | | | | Q833 572,00 | | | | Q1 250 358,00 | | | | Q1 667 144,01 | | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

