



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

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA  
CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL  
DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

**Sergio Arnoldo García Mejía**

Asesorado por el Ing. Angel Roberto Sic García

Guatemala, agosto de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA  
CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL  
DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SERGIO ARNOLDO GARCÍA MEJÍA**  
ASESORADO POR EL ING. ANGEL ROBERTO SIC GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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:

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA  
CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL  
DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha 8 de agosto de 2012.

  
**Sergio Arnoldo García Mejía**



Guatemala, 14 de octubre de 2014  
REF.EPS.DOC.1063.10.2014

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director  
Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Sergio Arnoldo García Mejía** con carné No. **200815623**, de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, 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"

Ing. Ángel Roberto Sic García  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo  
ARSG/ra



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
11 de noviembre de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA,** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Sergio Arnoldo García Mejía, con Carnet No. 200815623, quien contó con la asesoría del Ing. Ángel Roberto Sic García.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa  
Revisor por el Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

Mas de ~~134~~ <sup>135</sup> años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
22 de julio de 2016

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Sergio Arnoldo García Mejía, con Carnet No. 200815623 quien contó con la asesoría del Ing. Angel Roberto Sic García.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila  
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
TOPOGRAFIA Y TRANSPORTES  
**USAC**

mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Guatemala, 28 de julio de 2016  
Ref.EPS.D.305.07.16

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

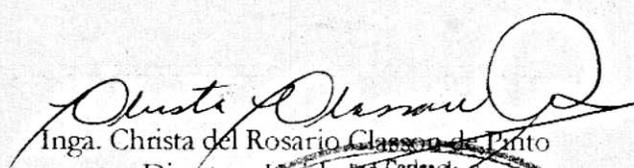
Estimado Ingeniero Montenegro Franco:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Sergio Arnoldo García Mejía, carné 200815623**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Ángel Roberto Sic García.

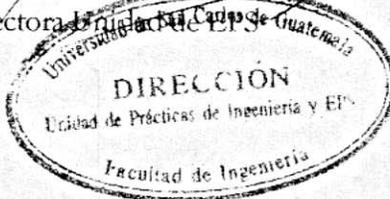
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor – Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa del Rosario Glasson de Pinto  
Directora de la Unidad de EPS

CdRCdP/ra





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Angel Roberto Sic García y Coordinadora de E.P.S. Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, al trabajo de graduación del estudiante Sergio Arnoldo García Mejía, titulado **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2016.

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

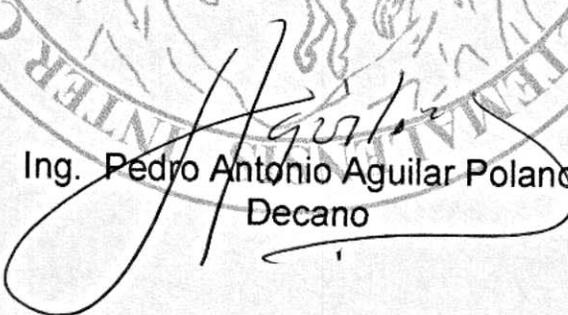




Ref.DTG.D.365.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ALDEA CUCHILLA DEL CARMEN Y DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Arnoldo García Mejía**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, agosto de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mis padres**

Fredy García Fuentes y Elsa Mejía Córdón, por su amor incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Monografía del municipio de Santa Catarina Pinula .....	1
1.1.1. Ubicación geográfica .....	1
1.1.2. Aspectos topográficos .....	2
1.1.3. Colindancias .....	2
1.1.4. Vías de acceso .....	3
1.1.5. Clima .....	3
1.1.6. Educación.....	5
1.1.7. Situación demográfica .....	6
1.1.8. Servicios existentes .....	6
1.1.9. Salud .....	7
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	9
2.1. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen, Santa Catarina Pinula .....	9
2.1.1. Descripción del proyecto .....	9
2.1.2. Levantamiento topográfico .....	10
2.1.2.1. Altimetría.....	10

	2.1.2.2.	Planimetría .....	11
2.1.3.		Tipo de fuentes.....	11
2.1.4.		Caudal de aforo.....	12
2.1.5.		Calidad del agua .....	12
	2.1.5.1.	Examen fisicoquímico del agua.....	13
	2.1.5.2.	Examen bacteriológico .....	16
2.1.6.		Determinación de caudales .....	18
	2.1.6.1.	Período de diseño .....	18
	2.1.6.2.	Dotación .....	19
	2.1.6.3.	Estimación de la población de diseño ..	20
	2.1.6.4.	Caudal medio diario .....	20
	2.1.6.5.	Caudal máximo diario.....	21
	2.1.6.6.	Caudal máximo horario .....	22
	2.1.6.7.	Caudal de bombeo .....	23
2.1.7.		Parámetros de diseño .....	24
2.1.8.		Captación .....	25
2.1.9.		Diseño hidráulico.....	26
	2.1.9.1.	Clases, presiones y diámetros de tubería .....	26
	2.1.9.2.	Velocidades y presiones máximas y mínimas.....	27
	2.1.9.3.	Diseño hidráulico de línea de impulsión .....	27
	2.1.9.4.	Tubería de succión.....	27
	2.1.9.5.	Tubería de descarga .....	28
2.1.10.		Carga dinámica total .....	30
	2.1.10.1.	Carga dinámica total en bombeo horizontal.....	31

2.1.10.2.	Carga dinámica total en bombeo vertical .....	32
2.1.10.3.	Altura neta de succión .....	33
2.1.11.	Cálculo de carga dinámica total (CDT) .....	36
2.1.11.1.	Cálculo de pérdidas .....	36
2.1.12.	Potencia del equipo de bombeo .....	38
2.1.13.	Verificación del golpe de ariete .....	41
2.1.14.	Diseño de tanque de distribución .....	43
2.1.15.	Obras hidráulicas .....	45
2.1.15.1.	Caja reunidora de caudales .....	45
2.1.15.2.	Caja distribuidora de caudales .....	45
2.1.15.3.	Caja rompe presiones .....	45
2.1.15.4.	Válvula de limpieza .....	46
2.1.15.5.	Válvula de aire .....	47
2.1.15.6.	Válvula de compuerta .....	47
2.1.15.7.	Pasos aéreos .....	47
2.1.15.8.	Conexiones domiciliarias .....	48
2.1.16.	Caseta de bombeo .....	48
2.1.17.	Sistema de desinfección .....	49
2.1.17.1.	Desinfección por medio de cloro .....	50
2.1.17.2.	Sistema de dosificación de cloro .....	53
2.1.18.	Presupuesto .....	60
2.1.18.1.	Costos unitarios .....	60
2.1.18.2.	Costo total de proyecto .....	61
2.1.19.	Propuesta de tarifa .....	64
2.1.20.	Cronograma de ejecución .....	66
2.1.21.	Estudio de impacto ambiental .....	66

2.2.	Diseño del pavimento rígido de la calle principal de la aldea El Carmen, municipio de Santa Catarina Pinula .....	69
2.2.1.	Descripción del proyecto .....	69
2.2.2.	Topografía .....	70
2.2.2.1.	Planimetría .....	70
2.2.2.2.	Altimetría .....	71
2.2.3.	Estudio de suelos .....	72
2.2.3.1.	Límites de Atterberg .....	72
2.2.3.2.	Análisis granulométrico .....	72
2.2.3.3.	Ensayo de contenido de humedad .....	73
2.2.3.4.	Ensayo de compactación para el contenido óptimo de humedad (Proctor) .....	73
2.2.3.5.	Ensayo del valor relativo de soporte del suelo (CBR) .....	73
2.2.4.	Análisis de resultados .....	75
2.2.5.	Elementos estructurales de la carretera .....	76
2.2.5.1.	Pavimento .....	76
2.2.5.2.	Tipos de pavimento .....	77
2.2.5.3.	Pavimento rígido .....	78
2.2.5.4.	Pavimento flexible .....	78
2.2.5.5.	Consideraciones de pavimento .....	78
2.2.5.6.	Subrasante .....	78
2.2.5.7.	Subbase .....	79
2.2.5.8.	Base .....	80
2.2.5.9.	Carpeta de rodadura .....	81
2.2.6.	Diseño de curvas horizontales y verticales.....	81
2.2.6.1.	Grado de curvatura (G) .....	86
2.2.6.2.	Longitud de curva (Lc).....	87

2.2.6.3.	Subtangente (St).....	88
2.2.6.4.	Cuerda máxima (Cm) .....	88
2.2.6.5.	External (E).....	88
2.2.6.6.	Ordenada media (Om).....	89
2.2.6.7.	Curvas de transición .....	89
2.2.6.8.	Bombeo .....	90
2.2.6.9.	Sobreancho .....	90
2.2.6.10.	Peralte .....	91
2.2.6.11.	Criterios de apariencia.....	96
2.2.6.12.	Criterio de comodidad.....	97
2.2.6.13.	Criterio de drenaje .....	97
2.2.6.14.	Criterio de seguridad .....	98
2.2.7.	Hombros o bordillo.....	101
2.2.8.	Movimiento de tierras .....	102
2.2.8.1.	Cálculo de áreas de secciones transversales .....	102
2.2.8.2.	Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras .....	103
2.2.9.	Método y procedimiento de diseño para la carretera .....	107
2.2.9.1.	Diseño de capa base .....	107
2.2.9.2.	Diseño de pavimento rígido .....	110
2.2.9.3.	Método y procedimiento de diseño para pavimento rígido .....	110
2.2.10.	Método para el diseño de pavimento rígido AASHTO-93.....	110
2.2.10.1.	Espesor .....	112
2.2.10.2.	Tráfico.....	112
2.2.10.3.	Coeficiente de confiabilidad .....	113

2.2.10.4.	Módulo de reacción de la subrasante-subbase.....	116
2.2.10.5.	Pérdida de serviciabilidad.....	116
2.2.10.6.	Propiedades del concreto (módulo de elasticidad y módulo de ruptura).....	117
2.2.10.7.	Coeficiente de transferencia de carga (J) .....	118
2.2.10.8.	Coeficiente de drenaje (Cd).....	120
2.2.10.9.	Determinación de espesor de losa .....	121
2.2.11.	Aforo vehicular .....	123
2.2.12.	Diseño de la mezcla del concreto.....	126
2.2.12.1.	Pasos para el diseño de la mezcla .....	128
2.2.13.	Pendiente transversal.....	131
2.2.14.	Maquinaria utilizada en el movimiento de tierras... ..	132
2.2.14.1.	Maquinaria utilizada en el movimiento de tierras y compactación de suelos .....	132
2.2.14.2.	Maquinaria utilizada en pavimentación .....	135
2.2.15.	Juntas.....	136
2.2.15.1.	Juntas en el pavimento de concreto ...	137
2.2.15.2.	Juntas transversales de expansión ....	137
2.2.15.3.	Juntas transversales de contracción ..	137
2.2.15.4.	Juntas longitudinales.....	138
2.2.15.5.	Juntas de construcción.....	138
2.2.16.	Elaboración de presupuesto.....	141
2.2.17.	Cronograma de la ejecución física-financiera.....	142
2.2.18.	Evaluación de impacto ambiental (EIA).....	143

CONCLUSIONES .....	145
RECOMENDACIONES .....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	149
APÉNDICES .....	151
ANEXOS .....	175



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ubicación de proyectos en estudio .....	2
2.	Colindancias del municipio de Santa Catarina Pinula .....	3
3.	Diagrama de sistema de bombeo con bomba sumergible .....	38
4.	Dosificador de flujo constante .....	55
5.	Dosificador de tabletas y píldoras de hipoclorito de calcio .....	59
6.	Elementos estructurales del pavimento.....	77
7.	Elementos de curva horizontal .....	82
8.	Grado de curvatura .....	87
9.	Componentes de curva vertical negativos .....	94
10.	Componentes de curva vertical positivos .....	95
11.	Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical .....	99
12.	Ejemplo de sección transversal.....	102
13.	Tipos de secciones transversales .....	104
14.	Volumen entre secciones del mismo tipo .....	105
15.	Volumen entre secciones de diferente tipo .....	106
16.	Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos .....	109
17.	Ecuación para determinar espesor de losa por AASHTO-93.....	111
18.	Esquema de la transferencia de carga entre losas vecinas .....	119
19.	Determinación de espesor de losa por medio del software “Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)” .....	122
20.	Esquema de juntas en un pavimento .....	139
21.	Endietamiento de la junta longitudinal de contracción con pasajuntas.....	140

22.	Endietamiento de la junta longitudinal de contracción .....	140
-----	---	-----

## TABLAS

I.	Características físicas. Límite máximo aceptable y límite máximo permisible que debe tener el agua potable .....	14
II.	Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles .....	15
III.	Resultados del examen fisicoquímico del agua .....	16
IV.	Resultados examen bacteriológico del agua .....	17
V.	Valores de módulo de elasticidad volumétrica de materiales .....	42
VI.	Hipoclorito necesario para preparar solución al 0,1 %.....	53
VII.	Presupuesto general del proyecto .....	62
VIII.	Datos generales de diseño del proyecto.....	64
IX.	Datos económicos del proyecto.....	65
X.	Matriz de Leopold .....	68
XI.	Calidad de subrasante en función del CBR .....	75
XII.	Clasificación del suelo en función del CBR .....	75
XIII.	Análisis de resultados.....	76
XIV.	Simbología de elementos de curva horizontal .....	82
XV.	Clasificación y especificación de las carreteras.....	83
XVI.	Especificaciones para curvas circulares, especificaciones para caminos de penetración, sección típica B.....	85
XVII.	Valores de diseño de sobreebanco según la AASHTO .....	91
XVIII.	Valores de diseño de peralte según la AASHTO .....	92
XIX.	Resumen de diseño geométrico de curvas horizontales .....	92
XX.	Valores de K para curvas cóncavas y convexas.....	96
XXI.	Valores de Kmín .....	100
XXII.	Resumen de diseño geométrico de curvas verticales.....	101

XXIII.	Ejemplo del cálculo de área transversal por determinantes.....	103
XXIV.	Espesor de capa base .....	108
XXV.	Valores de confiabilidad según la función de la vía .....	114
XXVI.	Valores de desviación normal estándar para cada valor del coeficiente de confiabilidad.....	115
XXVII.	Coeficiente de transferencia de carga .....	119
XXVIII.	Calidad de drenaje.....	120
XXIX.	Coeficiente de drenaje.....	121
XXX.	Datos utilizados para obtener espesor de losa por el Método AASHTO-93.....	123
XXXI.	Tráfico promedio diario anual .....	124
XXXII.	Cálculo de ejes equivalentes parciales.....	125
XXXIII.	Cálculo de ejes equivalentes total .....	126
XXXIV.	Tipo de asentamiento para diferentes estructuras.....	127
XXXV.	Requisitos aproximados de agua para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de los agregados (a) .....	127
XXXVI.	Requisitos aproximados de agua para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de los agregados (b) .....	128
XXXVII.	Porcentaje de arena sobre agregado grueso.....	129
XXXVIII.	Relación de mezcla .....	130
XXXIX.	Proporción volumen.....	131
XL.	Pendiente transversal recomendada según el tipo de superficie .....	132
XLI.	Modulación de juntas.....	139
XLII.	Resumen de presupuesto.....	141
XLIII.	Cronograma de la ejecución física-financiera.....	142
XLIV.	Estudio de impacto ambiental.....	144



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H</b>	Altura entre cauce
<b><math>\alpha</math></b>	Ángulo horizontal
<b><math>\beta</math></b>	Ángulo vertical en topografía
<b>A</b>	Área
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>CDT</b>	Carga dinámica total
<b>Qb</b>	Caudal de bombeo
<b>QMD</b>	Caudal máximo diario
<b>QMH</b>	Caudal máximo horario
<b>Qm</b>	Caudal medio
<b>a</b>	Celeridad
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico
<b>PVC</b>	Cloruro de polivinilo
<b>C</b>	Coefficiente de fricción
<b>Ø</b>	Diámetro
<b><math>\Delta H</math></b>	Diferencia de alturas
<b>D</b>	Diámetro hidráulico
<b>Di</b>	Diámetro interno de tubería
<b>D.N.</b>	Diferencia de nivel entre dos puntos
<b>US\$</b>	Dólar (moneda de Estados Unidos de América)
<b>L/hab/día</b>	Dotación en litros diarios por habitante

<b>S</b>	Esparcimiento entre juntas
<b>t</b>	Espesor de la losa de concreto del pavimento (carpeta de rodadura).
<b>E</b>	Espesor de pared de tubería
<b>F</b>	Factor de fricción
<b>G</b>	Fuerza de gravedad
<b>GPM</b>	Galones por minuto
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>HG</b>	Hierro galvanizado
<b>Hop</b>	Humedad óptima
<b>IP</b>	Índice plástico
<b>I</b>	Intensidad de lluvia
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	Kilogramo por centímetro cúbico
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>lb</b>	Libra
<b>lb/pie<sup>3</sup></b>	Libra por pie cúbico
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LMA</b>	Límite máximo admisible
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>L</b>	Longitud de cauce
<b>m</b>	Metro
<b>m.c.a.</b>	Metros columna de agua

<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mg/L</b>	Miligramos por litro
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mm/hora</b>	Milímetros por hora
<b>min</b>	Minutos
<b>E</b>	Módulo de elasticidad
<b>K</b>	Módulo de ruptura del concreto
<b>N</b>	Norte
<b>n</b>	Número de años del período de diseño
<b>π</b>	Número PI con valor de 3,141592654
<b>O</b>	Oeste
<b>mho/cm</b>	Ohmio por centímetro
<b>hs</b>	Pérdidas menores en la tubería
<b>hf</b>	Pérdidas por fricción en la tubería
<b>Pie<sup>3</sup></b>	Pie cúbico
<b>Pa</b>	Población actual
<b>Pf</b>	Población futura
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>P</b>	Presión
<b>Q</b>	Quetzal
<b>f'c</b>	Resistencia a la compresión del concreto
<b>i</b>	Tasa de crecimiento poblacional
<b>ton</b>	Tonelada
<b>v</b>	Velocidad
<b>V</b>	Volumen



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	American Association of Highways and Transportation Officials.
<b>Abrasión</b>	Es el desgaste producido a un material por acción de fricción.
<b>Aforo vehicular</b>	Método estadístico que tiene como finalidad la determinación del número de vehículos que transitan en un lugar durante un tiempo estimado.
<b>Agregado</b>	Materiales inertes de determinadas características que conforman el concreto, excluyendo el agua.
<b>Agregado fino</b>	Agregado del concreto cuyas partículas tienen un diámetro entre 0,074 y 4,76 milímetros (arena).
<b>Agregado grueso</b>	Agregado del concreto cuyas partículas tienen un diámetro varía entre 4,77 y 19,10 milímetros. Normalmente es llamado pedrín o grava.
<b>Aguas negras</b>	El agua que se desecha, después de haber servido para un fin. Puede ser doméstica, comercial o industrial.

<b>Altimetría</b>	Rama de la topografía que estudia los métodos que tienen como finalidad la representación de las alturas de los puntos de un terreno.
<b>Anaeróbico</b>	Condición en la cual hay ausencia de aire u oxígeno libre.
<b>Arcilla</b>	Partículas de suelo de diámetro menor de 0,002 milímetros.
<b>Arena</b>	Partículas de suelo de diámetro entre 0,074 y 4,76 milímetros.
<b>Asentamiento</b>	Es el descenso de nivel que presenta una estructura debido al hundimiento del suelo.
<b>Base</b>	Capa de material seleccionado de granulometría específica que se construye sobre la subbase.
<b>Bombeo</b>	Pendiente transversal descendente de la corona o subcorona, a partir de su eje o línea central, hacia ambos lados en tangente horizontal.
<b>CA</b>	Ruta Centroamericana.
<b>Candela</b>	Receptáculo donde se reciben las aguas negras provenientes del interior de la vivienda y que conduce al sistema de drenaje.

<b>Caudal</b>	Volumen por unidad de tiempo (por ejemplo m <sup>3</sup> /s o l/s).
<b>Cemento</b>	Aglomerante hidráulico, es decir, que reacciona y fragua con agua utilizada en el concreto y su función es aglomerar o pegar los agregados del concreto.
<b>Colector</b>	Conjunto de tuberías, canales, pozos de visita y obras accesorias que sirven para el desalojo de aguas negras o aguas de lluvia (pluviales).
<b>Cota invert</b>	Cota de la parte inferior interna de una tubería.
<b>Cocode</b>	Consejo Comunitario de Desarrollo.
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa de un material y el volumen.
<b>EPS</b>	Ejercicio Profesional Supervisado.
<b>Fraguado del concreto</b>	Es el cambio del estado plástico al estado sólido del concreto.
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.
<b>Losa</b>	Estructura plana de concreto con grosor específico utilizada para soportar cargas verticales.

**Tirante**

Altura de las aguas negras dentro de la alcantarilla.

## RESUMEN

El municipio de Santa Catarina Pinula, del departamento de Guatemala, es uno de los municipios con mayor crecimiento de población de este departamento, el cual carece de diversos servicios de infraestructura civil en algunas comunidades del mismo. Por esta razón, se realizó una investigación sobre los proyectos en planificación más importantes para este municipio, con la finalidad de analizar e interpretar la realidad y determinar la problemática existente, el cual dio como resultado el proyecto del diseño de sistema de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen.

El sistema consiste en la construcción de una línea de conducción desde el pozo ubicado en la aldea La Salvadora I, esta misma funcionará por impulsión mediante bombeos a través de conductos cerrados a presión y el almacenamiento del agua en un tanque de distribución. Se diseñó siguiendo la metodología de las ecuaciones propuestas por Hazen Williams y Darcy Weisbach. El tanque, la línea de distribución y la red de conexión domiciliar ya existen, por lo que no se contempló su diseño en este proyecto.

El otro proyecto a diseñar es el pavimento rígido del tramo carretero que une la aldea El Carmen, del municipio de Santa Catarina Pinula con la aldea Boca del Monte, del municipio de Villa Canales. Este tramo carretero es de vital importancia para la comunicación de las comunidades y para el desarrollo de sus actividades económicas diarias. La metodología de diseño seguirá los regímenes de las AASHTO y las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos de

Guatemala. La calle principal tiene una longitud de 4,01 kilómetros y se diseñó como una carretera tipo B.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar el sistema de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen y pavimento rígido en calle principal de la aldea El Carmen, Santa Catarina Pinula, Guatemala.

### **Específicos**

1. Realizar una investigación monográfica y diagnóstica sobre las necesidades de servicios básicos e infraestructura, del municipio de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala.
2. Identificar la opción que mejor se adecúe a las características particulares, tanto para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable, como para el pavimento rígido.
3. Mejorar las condiciones de acceso al agua potable de la comunidad de la aldea Cuchilla del Carmen.
4. Contribuir con el crecimiento y avance económico de la aldea El Carmen mediante la mejora de sus medios de transporte.
5. Elaboración de planos, presupuestos y cronogramas de los proyectos.



## INTRODUCCIÓN

El Ejercicio Profesional Supervisado tiene como objetivo poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante el tiempo transcurrido en la carrera de Ingeniería Civil, asimismo pretende brindar ayuda y colaborar con los municipios de todo el país, proveyendo soluciones a problemas que afectan a las comunidades como lo son los servicios básicos e infraestructura civil, contribuyendo a mejorar la vida de los habitantes.

El municipio de Santa Catarina Pinula, del departamento de Guatemala está ubicado 15 km al sur de la ciudad capital, con un área de 51 km<sup>2</sup>. Este municipio está localizado a 14° 34'13" latitud norte y 90° 29'45" longitud oeste, con una altitud de 1 550 mts SNM. Colinda al norte con la ciudad de Guatemala, al este con los municipios de San José Pinula y Fraijanes, al sur con los municipios de Fraijanes y Villa Canales y al oeste con Villa Canales y la ciudad de Guatemala.

En la investigación realizada se tomaron en cuenta los proyectos prioritarios para la municipalidad, los cuales consisten en:

- Diseño de sistema de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen, de aproximadamente 3 800 m de longitud.
- Diseño de pavimento rígido de calle principal de aldea El Carmen, de aproximadamente 4 040 metros lineales de construcción.

Para ambos proyectos se aplicarán los criterios de diseño adecuados, además de un estudio económico que comprende: análisis financiero, presupuesto, costos unitarios de todos los renglones de trabajo y cronograma de ejecución.

# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

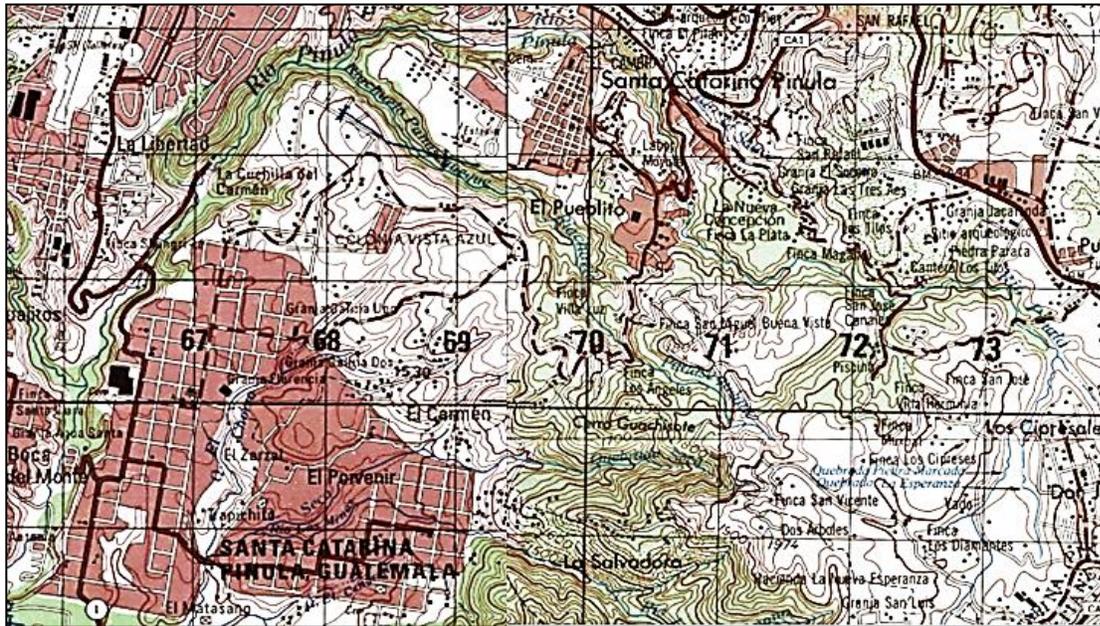
## **1.1. Monografía del municipio de Santa Catarina Pinula**

Para la elaboración de la monografía del municipio de Santa Catarina Pinula se recabó información de la Dirección Municipal de Planificación, Dirección de Obras, Dirección de Desarrollo Social y Económico y la Dirección de Servicios Públicos, las consultas fueron realizadas durante el desarrollo del EPS en el año 2012.

### **1.1.1. Ubicación geográfica**

El municipio de Santa Catarina Pinula se encuentra ubicado a una elevación de 1 550 msnm, con una latitud de 14°34'13" norte y una longitud de 90°29'45" oeste. El área específica de influencia son las aldeas El Pueblito, sector 1 y 2 de El Carmen y la aldea Cuchilla del Carmen.

Figura 1. **Ubicación de proyectos en estudio**



Fuente: mapa escala 1:50 000, IGN. Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Santa Catarina Pinula, 2012.

### 1.1.2. Aspectos topográficos

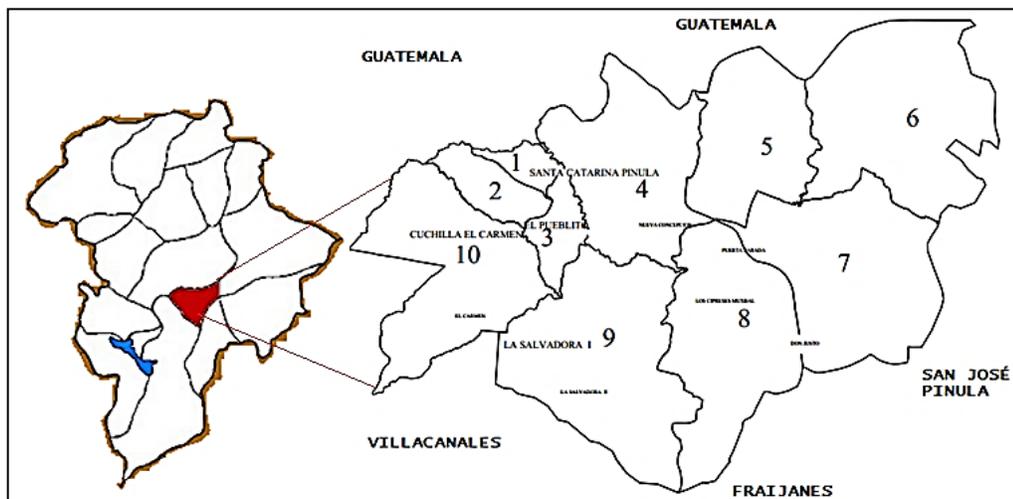
Santa Catarina Pinula tiene una altitud sobre el nivel del mar promedio de 1 550 m, el área superficial es de 50 km<sup>2</sup>, su topografía es accidentada en un 80 por ciento lo que hace que sea vulnerable a los deslizamientos. El relieve del suelo de Santa Catarina Pinula oscila entre los 900 hasta 2 100 metros sobre el nivel del mar.

### 1.1.3. Colindancias

Santa Catarina Pinula colinda al norte con la ciudad de Guatemala, al sur con los municipios de Fraijanes y Villa Canales, al oriente con los municipios de

San José Pinula y Fraijanes y al poniente nuevamente con Villa Canales y la ciudad de Guatemala.

Figura 2. **Colindancias del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: Municipalidad de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala.

#### 1.1.4. **Vías de acceso**

Existen dos vías de acceso a los proyectos las cuales son:

- Acceso a la aldea El Pueblito
- Carretera de Boca del Monte hacia Santa Catarina Pinula

#### 1.1.5. **Clima**

Santa Catarina Pinula pertenece a la zona vida del bosque húmedo subtropical, gozando de un clima templado que favorece la agricultura del lugar. Su precipitación anual va desde los 1 057 a los 1 588 milímetros.

Las condiciones climáticas que caracterizan al municipio de Santa Catarina Pinula, son: clima templado, con un alto grado de humedad y precipitaciones irregulares.

Una de las características de este tipo de clima son las lluvias intensas de corta duración. La lluvia o precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y de la vida, tanto de animales como vegetales, que requieren del mismo para vivir.

A través de la investigación se localizó la estación meteorológica de Insivumeh, se encuentra localizada en la 7a. Av. 14-57, zona 13, frente al Aeropuerto Internacional La Aurora siendo esta la estación más cercana al municipio de Santa Catarina Pinula.

En enero y febrero y de junio a diciembre en el municipio de Santa Catarina Pinula la temperatura oscila entre 10 grados como mínimo y 23 grados como máxima. La época más calurosa comprenden marzo, abril y mayo con temperatura de 13 grados la mínima y 27 grados la máxima.

En cuanto a la precipitación pluvial, es mínima de diciembre a febrero de 3,00 a 7,00 mm, marzo y abril de 11,00 a 26,00 mm siendo las primeras lluvias del año y en mayo a octubre aumenta de 109,00 a 236,00 mm, por la manifestación del invierno, las precipitaciones máximas en el año se registran en septiembre, octubre y noviembre; inicia nuevamente la estación seca y desciende hasta los 3,00 milímetros.

Con relación a la humedad, que es la cantidad de vapor de agua en el ambiente, oscila entre el 75 a 86 %, se determinó por medio datos obtenidos

del Insivumeh, que aumenta de junio a octubre, por ser la época lluviosa y disminuye de noviembre a mayo, época seca.

### **1.1.6. Educación**

El municipio de Santa Catarina Pinula cuenta con escuelas públicas en cada una de sus aldeas y algunos de sus caseríos, todas ellas cuentan con un nivel de infraestructura y equipo muy por encima de la media del país, siendo catalogadas como escuelas modelo por el gobierno central.

Según estadísticas del Ministerio de Educación, “la tasa de cobertura bruta en la enseñanza primaria fue de 112,98 %, en el nivel básico de 100,7 % y nivel diversificado de 39,83 %”<sup>1,2</sup>.

En 2010, Santa Catarina Pinula fue declarado municipio libre de analfabetismo tras alcanzar una alfabetización del 96,33 % de su población.

De acuerdo a la información derivada del análisis de lugares poblados y mapeo participativo, “la movilidad educativa que se presenta, es cercana a las aldeas y principales áreas pobladas, pero en los ciclos básico y diversificado se movilizan los alumnos hacia los institutos existentes en el municipio y a la ciudad capital” (Segeplan, 2009 a).

---

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Económicas Nacionales, 2011.

<sup>2</sup> Las tasas brutas pueden ser mayores al 100 % pues la población que asiste a un nivel determinado, puede ser mayor que la de la edad en la que debería asistir a ese nivel. esto se presenta con frecuencia cuando hay ingreso tardío de niños al sistema o cuando hay alta repitencia y deserción, lo que hace que se quede una proporción alta de niños en un nivel determinado porque no logran pasar al otro nivel o porque desertan mucho y tienen varias entradas y salidas del sistema, sin lograr promoverse rápidamente de un grado a otro y de un nivel a otro. *Ibíd.*

### **1.1.7. Situación demográfica**

Según XI censo de población del Instituto Nacional de Estadística para el 2002, Santa Catarina Pinula tiene una población aproximada de 100 000 habitantes, un 52 % de ella es sexo femenino y un 48 % sexo masculino. El 70,52 % de la población vive en área urbana y el 29,48 % en el área rural.

La aldea El Carmen y la aldea Cuchilla del Carmen contaban con una población de 7 083 y 3 326 habitantes respectivamente, según las proyecciones municipales para el 2013, se estima una población de 10 239 y 4 809 habitantes respectivamente, de los cuales se beneficiarán a 1 000 y 2 100 habitantes, en el mismo orden de las comunidades, con el presente proyecto. El idioma predominante es el español.

### **1.1.8. Servicios existentes**

El Carmen y Cuchilla del Carmen cuentan con los siguientes servicios:

- Energía eléctrica.
- Alumbrado público en las calles.
- Servicio de agua potable deficiente, la creciente demanda y disminución de caudal de las fuentes explotadas no fueron previstas.
- Centro de salud.
- Cobertura del 50 % de red de drenaje municipal.
- Cuentan con escuelas en cada una de las comunidades, teniendo acceso a los grados de preprimaria, primaria y básicos. Hace falta establecer escuelas e institutos para el nivel diversificado.
- Red telefónica fija y móvil.
- Red de conexión a internet.

- Tren de aseo municipal que se ocupa de limpieza de las calles municipales. La disposición de la basura de cada vecino corre por cuenta propia, lo que sumado a la falta de educación y conciencia ambiental desemboca en la proliferación de basureros clandestinos.

### **1.1.9. Salud**

Durante el Primer Encuentro de Municipios Saludables el 27 de noviembre del 2013, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) reconoció a Santa Catarina Pinula como el municipio con el primer puesto en el ranquin nacional en materia de salud. Obteniendo un índice de 0,7919 en una escala de 0 a 1, sobrepasando por mucho la media nacional de 0,2463, siendo catalogado como un municipio con categoría media-alta en salud.

El municipio cuenta en su cabecera con un moderno hospital municipal único en su clase en todo el país, que beneficia a la descentralización de servicios médicos, aunque ha tenido diversos inconvenientes en ser equipado por el Ministerio de Salud. También cuenta con centros de salud en la mayoría de sus aldeas, obteniendo de esta forma una de las tasas de natalidad más bajas en todo el país.

Sin embargo, aún existen deficiencias en algunas aldeas y comunidades del municipio, pues no cuentan con un servicio de agua potable efectivo, la población cuenta con su propio pozo para abastecer sus necesidades y en algunos casos la municipalidad brinda el servicio.

La ausencia de redes de drenaje pluvial y residual, y la inadecuada disposición de las aguas residuales en varias comunidades del municipio

desemboca en el aumento de enfermedades de carácter intestinal y respiratorio, aumentando así el índice de morbilidad.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen, Santa Catarina Pinula**

El diseño del sistema de abastecimiento de agua potable se priorizó sobre otros proyectos debido a la importancia social que posee, en el contexto de la fase de servicio técnico profesional.

#### **2.1.1. Descripción del proyecto**

El proyecto consiste en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable con el cual se pretende mejorar el servicio a corto plazo y aumentar la dotación actual de cada conexión domiciliar, conectada a la red municipal de distribución de agua potable.

En la actualidad se encuentran conectadas 150 viviendas a la red de distribución de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen. El agua potable se conducirá desde un pozo mecánico ubicado en la aldea La Salvadora I.

El proyecto de un nuevo sistema de abastecimiento de agua potable para la aldea Cuchilla del Carmen es de mucha importancia debido a que actualmente es insuficiente y la dotación proporcionada a la población es racionada, efímera y en algunos períodos de tiempo inexistente. Además del irregular servicio proporcionado, provocando un estancamiento en el desarrollo integral de la población al privárseles del acceso al líquido vital.

Con este proyecto se pretende que el sistema sea eficiente y funcional para un nuevo período de tiempo y así satisfacer la demanda de la población actual, así como la futura.

### **2.1.2. Levantamiento topográfico**

El levantamiento se hizo utilizando el método de conservación del azimut, el cual tiene como finalidad dar a cada alineamiento el azimut correspondiente, correlacionándolo siempre con el anterior sin necesidad de orientar el aparato magnéticamente. Por ser el estudio para un acueducto rural, se hizo un levantamiento topográfico de segundo orden, se trabajaron poligonales abiertas, tomando en cuenta la topografía del terreno, misma que sirvió para definir los puntos donde es necesario colocar tubería de hierro galvanizado. Con ayuda del equipo compuesto por teodolito,stadal, cinta métrica, plomadas especiales para cadenar, nivel fijo tubular y de mano y la importante colaboración de vecinos y miembros del comité de agua potable.

#### **2.1.2.1. Altimetría**

Es la rama de la topografía que toma en cuenta las diferencias de nivel existentes entre puntos de un terreno. Para determinar la diferencia de nivel entre dos puntos se utilizará la siguiente fórmula:

$$D.N. = 100\Delta H \left( \frac{1}{2} \sin 2\beta \right)$$

En donde:

D.N. = diferencia de nivel entre dos puntos (metros)

$\Delta H$  = diferencia en metros de lectura de hilos (metros)

$\beta$  = ángulo vertical

### **2.1.2.2. Planimetría**

Considera la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario, que se supone que es la superficie media de la tierra.

$$D. H. = (\sin \beta^2 * 100 * \Delta H)$$

En donde:

D.N.= diferencia de nivel entre dos puntos (metros)

$\Delta H$  = diferencia de lectura de hilos (metros)

$\beta$  = ángulo vertical

Tablas con información topográfica en apéndices.

### **2.1.3. Tipo de fuentes**

Una fuente de agua es todo aquel lugar capaz de suministrar en cualquier época del año un caudal. Es adecuada para el consumo humano, cuando es de una calidad aceptable y en las cantidades requeridas.

En el medio ambiente se pueden encontrar diferentes fuentes de agua en su estado natural, las cuales se clasifican en: aguas meteóricas o aguas de lluvia, aguas superficiales como ríos y lagos, y aguas subterráneas. Estas últimas son las que se han filtrado en suelos permeables al caer a la superficie terrestre y que afloran en forma horizontal o vertical, en uno o varios puntos definidos.

Para dotar de agua potable a las aldeas El Carmen y Cuchilla del Carmen se ha optado por una fuente subterránea ubicada en un pozo mecánico en la aldea Salvadora I.

#### **2.1.4. Caudal de aforo**

Para que el aforo fuera confiable se efectuó en época de estiaje; se corría el riesgo que la inversión fuera en vano, debido a que todos los recursos hidráulicos están propensos a disminuir su caudal por sequías o incendios forestales.

Se realizaron pruebas de bombeo, donde se registró por más de 24 horas el nivel del agua, línea piezométrica, abatimiento y caudal. La prueba se realizó con una potencia de la bomba de 150 HP en donde el pozo registró una producción de 488 GPM. Las tablas con la información de dicha prueba se ubican en el apéndice D.

#### **2.1.5. Calidad del agua**

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana.

Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos y los procesos biológicos en el medio acuático, que pueden alterar la composición física y química del agua.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico.

#### **2.1.5.1. Examen fisicoquímico del agua**

El principal propósito de este examen es el de medir y registrar aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos tales como: olor, color, sabor, temperatura y determinar las cantidades de minerales que hay en el agua y que pueden afectar su calidad.

Las sustancias minerales que están contenidas en el agua deben quedar bajo los límites máximos aceptables o máximos permisibles para el consumo humano, los cuales en su mayor parte han sido fijados por normas.

El límite máximo aceptable es cuando la concentración de un compuesto o sustancia no implique efectos perjudiciales para la salud; el máximo permisible es la concentración de un compuesto o sustancia que no debe excederse, por significar un riesgo para la salud.

- Conductividad eléctrica: el agua deberá tener una conductividad de 100 a 750 mho/cm a 25 °C.
- Características químicas del agua potable: de preferencia, los resultados de los análisis deben expresarse en miligramos por litro (mg/L).

Tabla I. **Características físicas. Límite máximo aceptable y límite máximo permisible que debe tener el agua potable**

Características	LMA	LPM
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Potencial de hidrógeno	7.0 – 7.5 (2)	6.5 – 8.5 (2)
Sólidos totales	500.0 mg/L	1000.00 mg/L
Temperatura	15.0 – 25.0 °C	34.0 °C
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT o UJT	15.0 UNT o UJT
(1)	unidades de color en la escala de Platino – Cobalto	
(2)	en unidades de Ph	
(3)	Unidades de turbiedad, sea en unidades Jackson (UJT) o unidades nefelométricas (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.	

Fuente: Coguanor 29001.

Tabla II. **Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles**

<b>Características</b>	<b>LMA en miligramos/litro</b>	<b>LMP en miligramos/litro</b>
Detergentes aniónicos	0.2000	1.000
Aluminio (Al)	0.050	0.100
Amoníaco	---	1.500
Bario (Ba)	---	1.000
Calcio	75.000	150.000
Cinc (Zn)	3.000	7.000
Cloruro (Cl)	10.000	250.000
Cobre (Cu)	0.050	1.500
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	100.00	500.000
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Magnesio (Mg)	50.000	100.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Níquel (Ni)	0.010	0.020
Nitrato	---	45.000
Nitrito	---	0.010
Substancias fenólicas	0.001	0.002
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	100.000	250.000

Fuente: Coguanor 29001.

Los resultados obtenidos indican desde el punto de vista fisicoquímico sanitario que están dentro de los límites indicados en las tablas anteriores. Se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla III. **Resultados examen fisicoquímico del agua**

Fuente: pozo mecánico aldea La Salvadora I	Potencial de hidrógeno (pH): ácido. Las demás determinaciones indicadas se encuentran dentro de los límites máximos aceptables con normalidad.
--	---

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.5.2. Examen bacteriológico**

El objetivo principal es proporcionar toda la información relacionada con su potabilidad, es decir, indicar el grado de contaminación bacteriana y principalmente con materia fecal, para lo cual se busca la presencia del grupo coliforme.

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las opciones siguientes:

- Método de los tubos múltiples de fermentación: para nuevas introducciones de agua potable, se aplica la prueba de 15 tubos, se examinan 5 tubos con porciones de 10 cm<sup>3</sup>, 5 tubos con porciones de 1 cm<sup>3</sup>, y 5 tubos con porciones de 0,1 cm<sup>3</sup>, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2,0 coliformes en 100 cm<sup>3</sup> de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada

satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

- Prueba de presencia ausencia (P-A de coliformes): es una simplificación del procedimiento de los tubos múltiples. La información que se obtiene es cualitativa en relación con la presencia o ausencia de coliformes.

Consiste en analizar un volumen o porción de 100 ml de agua para cultivo simple en una botella con el medio de cultivo P-A. Una prueba presuntiva de la presencia da un color de púrpura a amarillo. Como en el método de los tubos de fermentación múltiple una prueba presuntiva positiva debe ser confirmada con las pruebas complementarias de coliformes totales y/o fecales. El agua se considera adecuada para consumo humano cuando hay ausencia de coliformes en 100 mililitros de agua.

Desde el punto de vista bacteriológico los datos obtenidos confirman la presencia de gérmenes coliformes, por lo cual los resultados son:

Tabla IV. **Resultados examen bacteriológico del agua**

Fuente: pozo mecánico aldea La Salvadora I.	Bacteriológicamente el agua no es potable. La presencia de coliformes totales rebasa el límite admitido. Se propuso una desinfección con hipoclorito de sodio.
---	--

Fuente: elaboración propia.

## **2.1.6. Determinación de caudales**

De una correcta determinación de caudales depende el éxito del diseño hidráulico de un proyecto de agua potable. Se busca determinar caudales realísticos y óptimos para un diseño económico y sustentable.

### **2.1.6.1. Período de diseño**

Las variaciones día a día reflejan la actividad doméstica en una población, el consumo de agua cambia con las estaciones, los días de la semana y las horas del día; por lo que el sistema diseñado debe satisfacer en todo momento estas variaciones.

Deben considerarse los siguientes factores:

- El tiempo durante el cual la obra dará servicio a la población.
- Durabilidad del material a utilizar.
- Los costos y las tasas de interés vigentes.
- Crecimiento de la población incluyendo posibles cambios en el desarrollo de la comunidad.
- Factibilidad o dificultad para hacer ampliaciones o adiciones a las obras existentes o planeadas, incluyendo una consideración de su localidad.
  - Obras civiles = 20 años
  - Equipos mecánicos = 5 a 10 años

Para el caso en estudio se asignará un período de diseño de 25 años, más 2 años para trámites de financiamiento.

### **2.1.6.2. Dotación**

Es el volumen de agua que se le asigna a una persona para su consumo, por unidad de tiempo. Usualmente, en el medio la dotación se determina en 150 l/hab/día.

Es recomendable que la dotación se determine con base en estudios de demanda de agua de la población que se investiga, o poblaciones cercanas con características similares.

Los factores que influyen en la determinación de la dotación son: clima, nivel de vida, actividad productiva, número de habitantes, costumbres, existencia de abastecimientos privados, alcantarillado y contadores, presiones en la red y capacidad administrativa de la municipalidad.

La dotación está formada por: caudal doméstico, caudal industrial, caudal comercial y caudal público. A estos consumos se deberá agregar un porcentaje de pérdidas por fugas y mal uso del agua. Generalmente, poblaciones pequeñas presentan consumos bajos en relación con ciudades grandes y desarrolladas, debido a la ausencia de industria, carencia de alcantarillado y el bajo porcentaje de área recreacional que amerite riego y mantenimiento.

Con la finalidad de determinar la dotación, se consideran los factores que influyen en la misma, así como las especificaciones del Instituto de Fomento Municipal y la Dirección General de Obras Públicas. Se establece que la dotación para este estudio será de 125 l/hab/día.

La elección de la dotación es una gran responsabilidad que se ve reflejada en la eficiencia con que un acueducto preste su servicio futuro.

La dotación debe satisfacer las necesidades de consumo de la población, con la finalidad de que esta desarrolle sus actividades de la mejor forma posible.

### **2.1.6.3. Estimación de la población de diseño**

Para el cálculo de población futura se utilizó el método de crecimiento geométrico, el cual consiste en calcular el cambio promedio de la tasa de población para el área en estudio por cada década en el pasado y así proyectar su tasa promedio o porcentaje de cambio hacia el futuro.

La fórmula empleada para este método es:

$$\begin{aligned} pf &= pa * (1 + i)^n \\ pf &= 2\ 875 * (1 + 0,0386)^{27} \\ pf &= 7\ 994 \text{ personas} \end{aligned}$$

En donde:

- pf = población futura en un tiempo (personas)
- pa = población actual (personas) (según INE, censo del 2002)
- i = tasa de crecimiento poblacional (porcentaje/100)
- n = período de diseño (años)

### **2.1.6.4. Caudal medio diario**

Es el promedio de los consumos diarios durante un año de registro

$$Q_m = \sum (Q_{ind} + Q_{dom} + \dots)$$

$$Q_m = \frac{\text{dot} \times \text{pf}}{t}$$

$$Q_m = \frac{125 \times 7\,994}{86\,400} + \frac{1\,500 \times 5}{86\,400} + \frac{1\,500 \times 3}{86\,400}$$

$$Q_m = 11,66 \text{ litros/segundo}$$

En donde:

$Q_m$  = caudal medio (l/s)

$Q_{\text{ind}}$  = caudal industrial (l/s)

$Q_{\text{dom}}$  = caudal domiciliar (l/s)

dot = dotación (l/hab/día)

pf = población futura (habitantes)

#### **2.1.6.5. Caudal máximo diario**

Conocido también como caudal de conducción, es el día de máximo consumo de una serie de registros obtenidos en un año, regularmente cuando hay actividades en las cuales participa la mayor parte de la población, el valor que se obtiene es utilizado en el diseño de la fuente, captación, línea de conducción y la planta de tratamiento.

A falta de registro, el consumo máximo diario (CMD) será el producto de multiplicar el consumo medio diario por un factor de día máximo (FDM) que oscile entre 1,2 y 1,5; 1,5 para poblaciones futuras menores de 1 000 habitantes y 1,2 para poblaciones futuras mayores de 1 000 habitantes. Al tomar en cuenta el clima, el nivel socioeconómico y la cantidad de habitantes, se

determina que para este estudio el factor de día máximo (FDM) es de 1,20 con lo cual se tiene:

$$\begin{aligned} \text{QMD} &= \text{FDM} \times \text{Qmd} \\ \text{QMD} &= 1,2 \times 11,66 \\ \text{QMD} &= 23,32 \text{ litros/segundo} \end{aligned}$$

En donde:

QMD = caudal de día máximo o máximo diario (l/s)

FDM = factor de día máximo

Qmd = caudal medio diario (l/s)

#### **2.1.6.6. Caudal máximo horario**

Conocido también como caudal de distribución, debido a que es utilizado para diseñar la línea y red de distribución. Es la hora de máximo consumo del día; el valor obtenido se usará para el diseño de la línea de distribución y la red de distribución.

Para determinar este caudal se debe multiplicar el consumo medio diario por el coeficiente o factor de hora máximo (FHM) cuyo valor es de 2,0 (para poblaciones futuras mayores de 1 000 habitantes) y de 3,0 (para poblaciones futuras menores de 1 000 habitantes).

La selección del factor es función inversa al tamaño de la población a servir, por lo que para el presente estudio el factor de hora máxima tendrá un valor de 2,00.

El caudal máximo horario se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} QMH &= FHM \times Qmd \\ QMH &= 2,0 \times 11,66 \\ QHM &= 23,32 \text{ litros/segundo} \end{aligned}$$

En donde:

QMH = caudal máximo horario o de hora máxima (l/s)

FHM = factor de hora máxima

Qmd = caudal medio diario (l/s)

#### **2.1.6.7. Caudal de bombeo**

Cuando el sistema exige ser diseñado por bombeo, se requiere considerar un caudal suficiente para abastecer el consumo máximo diario en un determinado período de bombeo.

Para determinar el caudal es importante definir antes el período de bombeo, el cual se obtiene en función del caudal que proporciona la fuente, en este caso se determina por medio del que se necesita para abastecer a todas las viviendas en este proyecto.

Dicho período afecta directamente el diámetro de la tubería de descarga, la potencia de la bomba y las dimensiones del tanque de alimentación. Se recomienda que el período de bombeo sea de 8 a 12 horas.

Es importante aclarar que el equipo de bombeo es el que debe preverse para un período de 10 años, más no el resto de los componentes del sistema; por lo que la tubería de descarga debe diseñarse de tal manera que sea suficiente para abastecer a una población futura de 20 años, como en este caso.

Para el proyecto en estudio, el caudal fue diseñado de la siguiente manera:

$$Q_b = \frac{Q_c \times 24}{HB}$$

$$Q_b = \frac{13,99 \times 24}{12}$$

$$Q_b = 27,99 \text{ litros/segundo}$$

En donde:

$Q_b$  = caudal de bombeo (l/s)

$Q_c$  = caudal de conducción o máximo diario (l/s)

$H$  = número de horas de bombeo al día

### **2.1.7. Parámetros de diseño**

El diseño se hará siguiendo las normas recomendadas por Infom/Unepar en la *Guía para el Diseño de Abastecimiento de Agua Potable a Zonas Rurales*, las cuales son el resultado de experiencias sobre la materia durante muchos años, tanto del sector privado como del público, sin dejar por un lado las tres condiciones fundamentales para proporcionar agua a las poblaciones, las cuales son: dar la cantidad necesaria, con la calidad adecuada y con la garantía de un servicio permanente, en relación con la duración de las instalaciones y la cuantía de las inversiones.

### **2.1.8. Captación**

Las fuentes deberán garantizar el caudal de día máximo de forma continua. El diseñador deberá evaluar el registro de aforo y la información hidrológica disponible, existen básicamente dos formas de captar el agua, una es superficial (ríos) y la otra es en manantiales (nacimientos).

Para este proyecto en particular la forma de captación es por medio de un pozo, ubicado en la aldea La Salvadora I.

Las estructuras garantizarán seguridad, estabilidad y funcionamiento en todos los casos y para cualquier condición de la fuente, se debe garantizar protección contra la contaminación, entrada y proliferación de raíces, algas y otros organismos indeseables. Además de facilidad de inspección y operación.

Un pozo es un agujero, excavación o túnel vertical perforado en la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, sea una reserva de agua subterránea de una capa freática o fluidos como el petróleo. Generalmente de forma cilíndrica, se suele tomar la precaución de asegurar sus paredes con ladrillo, piedra, cemento o madera, para evitar su deterioro y derrumbe para que no cause daño masivo o grave que podría causar el taponamiento del pozo.

Por seguridad y utilidad, el pozo se rodea a nivel de superficie con un brocal, a modo de pretil o parapeto, sobre el que se instala una polea o un cigüeño, para subir el cubo que contiene el agua extraída. También se le suele colocar una tapadera para evitar que caiga suciedad al interior.

El pozo mecánico tiene una profundidad de 1 500 pies, la bomba está instalada a 1 000 pies con 13 etapas y 125 HP con una producción de 488 GPM. En anexos se encuentra el perfil estratigráfico y prueba de bombeo.

### **2.1.9. Diseño hidráulico**

Múltiples factores, como la topografía, el tipo de tubería, la pendiente, las velocidades mínima y máxima que puede alcanzar la corriente, entre otros, influyen directamente en el diseño hidráulico de un sistema de agua potable.

#### **2.1.9.1. Clases, presiones y diámetros de tubería**

En sistemas de acueductos se utiliza generalmente tubería de cloruro de polivinilo rígido (PVC) y de hierro galvanizado (HG). La línea de conducción llevará las siguientes características en su recorrido; debido a la topografía del mismo. Para el diseño del proyecto de agua potable se utilizó tubería de PVC de 160, 250 y 315 psi.

Para el diseño hidráulico, el diámetro de la tubería se calcula de acuerdo con el tipo de sistema que se trate; sin embargo, para todo diseño se debe utilizar el diámetro interno de la tubería, no así el diámetro comercial.

Cuando se emplea la fórmula de Hazen Williams para el diseño hidráulico con tubería PVC, el coeficiente de fricción C, es de 150, y para tuberías de HG, C = 100.

### **2.1.9.2. Velocidades y presiones máximas y mínimas**

La presión hidrostática en la línea de conducción se recomienda mantenerla, en lo posible, debajo de 80 m.c.a. La máxima presión permisible es de 90 m.c.a. La presión hidrodinámica en la línea no debe ser mayor de 60 m.c.a. La velocidad en la línea de conducción se debe mantener entre 0,6 y 2 m/s, en todo el sistema.

### **2.1.9.3. Diseño hidráulico de línea de impulsión**

Esta es colocada inmediatamente después de la bomba, generalmente en el abastecimiento de agua potable para el área rural, esta tubería conduce el líquido a un tanque de almacenamiento.

La tubería de este tramo será elegida tomando en cuenta factores tales como: diámetro económico, la presión estática, presión dinámica y la sobre presión, más conocida como golpe de ariete.

La tubería de impulsión se compone de tubería de succión y tubería de descarga, las cuales se estudiarán detenidamente a continuación.

### **2.1.9.4. Tubería de succión**

Se llama así a la tubería que va conectada directamente a la entrada de la bomba uniéndola a la misma con el volumen de agua a elevarse.

Para minimizar la resistencia al paso del agua y evitar entradas de aire en esta tubería, se recomienda tomar en cuenta en el diseño e instalación, los siguientes aspectos:

- Se debe tender con una pendiente de elevación continua hacia la bomba, sin puntos altos, para evitar la formación de burbujas de aire.
- Debe ser tan corta y tan directa como sea posible.
- Su diámetro debe ser igual o mayor que el diámetro de la tubería de descarga; si se requiere una línea de succión larga, el diámetro de la tubería debe aumentarse para reducir la resistencia al paso de agua.
- Los reductores a utilizarse deben ser excéntricos, con el lado recto hacia arriba para evitar también la formación de burbujas de aire.
- Los codos instalados en la misma, generalmente se prefieren de radio largo porque ofrecen menos fricción y proveen una distribución más uniforme del flujo que con el uso de codos normales.
- En la entrada de esta tubería se recomienda utilizar una coladera con válvula de pie debido a que disminuye el riesgo de entrada de materia indeseable al tubo de succión; al mismo tiempo, tiene la particularidad de retener el agua que ha entrado a la tubería, evitando la necesidad de cebar la bomba después de que ha dejado de operar.

También se acostumbra colocar en la entrada de esta tubería, una campana de succión, que puede construirse con o sin válvula de pie y es útil para minimizar la resistencia al paso del agua.

#### **2.1.9.5. Tubería de descarga**

La tubería de descarga es la que se coloca inmediatamente después de la bomba, generalmente en abastecimiento de agua potable en el área rural. Esta

tubería descarga el líquido a un tanque de almacenamiento, aunque se podría conectar directamente a la tubería de distribución.

La velocidad del caudal requerido en la tubería de descarga debe conducirse a una velocidad máxima de 2 m/s. Para minimizar la resistencia al paso del agua y eliminar formaciones de aire, es conveniente considerar en el diseño e instalaciones de la tubería de descarga, las reglas siguientes:

- Debe colocarse en la ruta más directa posible, desde la bomba hasta el punto de descarga, lo que aminora la resistencia al paso del agua.
- Cuando se usen vueltas o dobleces, su tipo deben ser de radio grande; lo que mantendrá al mínimo la resistencia al paso del agua.
- El número de cambios de dirección, válvulas y accesorios deben ser los mínimos necesarios en esta tubería, sin embargo, en lugares bajos deben instalarse válvulas de limpieza y si es requerido, en los picos de la línea deberá colocarse válvulas de aire.
- Cuando se contemple la conexión de más de una bomba a una misma tubería de descarga, se recomienda el uso de accesorios que conduzcan el fluido por la ruta más directa; usando, por ejemplo, yee o codos de mínimo ángulo. En este mismo caso, conforme se vaya sumando caudales, el diámetro de la tubería debe ser el inmediato superior. El tipo de la tubería de descarga está íntimamente ligado a la máxima presión que se presenta en esta, pudiendo ser clasificada según su presión de trabajo, en ligera, mediana o alta.

$$\Phi_{v=0,6 \text{ m/s}} = \sqrt{\frac{1,974 * Qb}{v}} = \sqrt{\frac{1,974 * 27,99}{0,6}} = 9,60''$$

$$\phi_{v=2,0 \text{ m/s}} = \sqrt{\frac{1,974 * Q_{\text{bombeo}}}{v}} = \sqrt{\frac{1,974 * 27,99}{2,0}} = 5,26''$$

$$\phi_{\text{prom}} = \frac{9,60 + 5,26}{2} = 7,43 \cong 8''$$

En donde:

$\phi_{v=0.6 \text{ m/s}}$  = diámetro de tubería a una  $v = 0,6 \text{ m/s}$  (plg)

$\phi_{v=2.0 \text{ m/s}}$  = diámetro de tubería a una  $v = 2,0 \text{ m/s}$  (plg)

$\phi_{\text{prom}}$  = diámetro de tubería promedio (plg)

$v$  = velocidad del flujo (m/s)

$Q_b$  = caudal de bombeo (l/s)

$hd$  = diferencia de altura entre el nivel de agua en la descarga y el ojo del impulsor (m).

La tubería de descarga propuesta es de 8 pulgadas de diámetro, resultante de calcular el promedio entre los diámetros resultantes a las velocidad mínima y máxima.

### 2.1.10. Carga dinámica total

La carga dinámica total, CDT, es la presión real expresada en metros columna de agua (m.c.a.), contra la cual debe operar una bomba para elevar el caudal de agua hasta el nivel requerido. El cálculo para bombas centrífugas depende de la dirección del eje de la rotación, por lo que la CDT en bombeo horizontal, será diferente en la CDT en bombeo vertical.

### **2.1.10.1. Carga dinámica total en bombeo horizontal**

Se llama así, porque el eje de rotación de la bomba es horizontal. Esta se puede presentar en tres formas, como se describen a continuación:

- **Caso I**

El nivel del agua en la descarga al igual que en la succión, están expuestos a la presión atmosférica; además el nivel de succión está abajo del nivel del ojo del impulsor:

$$CDT1 = h_s + h_{fs} + h_d + h_{fd} + h_{fv} + h_m$$

- **Caso II**

El nivel del agua en la succión está expuesto a la presión atmosférica, al igual que en la descarga y arriba del ojo del impulsor:

$$CDT2 = h_s + h_{fs} + h_d + h_{fd} + h_{fv} + h_{fm}$$

- **Caso III**

En este se presentan los dos casos antes descritos, con la diferencia que en la succión y descarga existen presiones, diferentes a la atmosférica, cuyos valores se pueden representar en la descarga como  $H_{dad}$  y en la succión  $H_{das}$ , de tal manera las expresiones de la carga dinámica total quedan de la siguiente manera:

a) Si el ojo del impulsor está arriba del nivel de succión, entonces:

$$CDT3a = h_s + h_{fs} + h_d + h_{fd} + h_{fv} + h_{fm} + h_{das} + H_{dad}$$

b) Si el ojo del impulsor está debajo del nivel de succión, entonces:

$$CDT3b = - h_s + h_{fs} + h_d + h_{fd} + h_{fv} + h_{fm} - h_{das} + H_{dad}$$

En donde:

$h_s$  = diferencia de altura entre el nivel de agua en la succión y el ojo del impulsor, en metros.

$h_{fs}$  = pérdida de carga por fricción en la tubería de succión, en m.c.a.

$h_d$  = diferencia de altura entre el nivel de agua en la descarga y el ojo del impulsor en metros.

$h_{fd}$  = pérdida de carga por fricción en la tubería de descarga en m.c.a.

$h_{fv}$  = pérdida de carga por velocidad en la descarga, en m.c.a.

$h_{fm}$  = pérdidas menores de carga producidas por accesorios en m.c.a.

$h_{das}$  = presión diferente a la atmósfera existente en la succión en m.c.a.

$h_{dad}$  = presión diferente a la atmósfera existente en la descarga en m.c.a.

### **2.1.10.2. Carga dinámica total en bombeo vertical**

Esta se presenta en dos formas: cuando se utiliza una bomba vertical de turbina o una bomba sumergible; aplicándose los mismos términos que en los casos anteriores con la excepción que el símbolo  $h_d$  significa, en este caso, la diferencia entre el nivel del agua en la succión y el nivel de la descarga. En bombas verticales de turbina se utiliza el término  $h_{fs}$  que representa las

pérdidas por fricción en la columna de la bomba, cuyo valor puede ser proporcionado por el fabricante a través de tablas.

- Las bombas verticales de turbina:

$$CDTva = hd + hfd + hfv + hfc + hfm$$

- Bombas sumergibles:

$$CDTvb = hd + hfd + hfv + hfm$$

### **2.1.10.3. Altura neta de succión**

- Altura neta de succión positiva

Es la presión necesaria para hacer pasar el agua por la tubería de succión hasta el ojo del impulsor. Esta presión es conocida como MPS (Net Positive Suction Head) y es medida en el ojo del impulsor.

En la proyección de instalación de una bomba, es necesario considerar dos tipos de altura neta de succión positiva o NPSH: la disponible, y la requerida por la bomba que será instalada; de ambas es necesario que la primera sea mayor que la segunda para evitar el fenómeno de cavitación, el cual puede dañar rápidamente la bomba.

Cuando existe presión atmosférica actuando en la superficie del agua que será succionada y la presión disminuye en el ojo del impulsor de una bomba centrífuga hasta ser menor que la atmosférica, entonces inicia la elevación del agua por la tubería de succión, pero si la presión disminuye hasta corresponder con la presión de vapor de agua y se origina el fenómeno de cavitación, lo cual

se puede evitar disminuyendo la altura del ojo del impulsor sobre el nivel de succión. Si de esta manera persiste aún debajo de la presión de vapor de agua, entonces el nivel de la superficie de succión debe diseñarse a la misma altura del ojo del impulsor y si fuese necesario, arriba de este.

Cuando se emplea una bomba centrífuga de eje horizontal, esta se divide en tres casos diferentes.

- Caso I

Cuando el nivel del agua en la succión está expuesto a la presión atmosférica y abajo del ojo del impulsor el NPSH1, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\text{NPSH1} = h_a - (h_s + h_{fs} + h_v + h_{fm})$$

- Caso II

Cuando el nivel de agua en la succión está arriba del ojo del impulsor y expuesto a la presión atmosférica:

$$\text{NPSH2} = h_a + h_s - (h_{fs} + h_v + h_{fm})$$

- Caso III

En éste se presentan los dos casos anteriores, con la diferencia que en la succión existe una presión diferente a la atmosférica; por lo que la presión atmosférica  $h_a$  se sustituye por  $h_{da}$ ; por consiguiente, las nuevas expresiones para los casos I y II respectivamente, serán:

$$a) \quad \text{NPSH}_{3a} = h_{das} - (h_s + h_{fs} + h_v + h_{fm})$$

$$b) \quad \text{NPSH}_{3b} = h_{das} + h_s - (h_{fs} + h_v + h_{fm})$$

En donde:

$h_a$  = presión atmosférica correspondiente a la altitud de operación de la bomba (m.c.a.).

$h_s$  = diferencia de altura entre el nivel del agua en la succión y el ojo del impulsor (altura estática en la succión) (m).

$h_{fs}$  = pérdida de carga por fricción en la succión (m.c.a.).

$h_v$  = presión de vapor del agua (m.c.a.).

$h_{fm}$  = pérdidas menores de carga producida por accesorios (m.c.a.).

$h_{das}$  = presión diferente a la atmosférica existente en la succión (m.c.a.).

- Altura neta de succión positiva disponible en bombeo vertical

Este cálculo es especial para la instalación de bomba vertical de turbina o la bomba sumergible. En este caso entra en consideración la sumergencia de la bomba, lo cual es necesario para el funcionamiento normal de la misma, evitando la posibilidad de la entrada de aire, que en su efecto disminuye la eficiencia del conjunto motor bomba.

La expresión dada para determinar la altura neta de succión positiva disponible para este caso, es la siguiente igualdad:

$$\text{NPSHd} = h_a + S - h_v - h_m$$

Este tipo de bomba se utiliza para el presente estudio.

### 2.1.11. Cálculo de carga dinámica total (CDT)

Es la suma total de resistencias del sistema correspondientes a la carga estática total, la pérdida de carga por fricción en la tubería de succión y descarga y a la carga de velocidad.

#### 2.1.11.1. Cálculo de pérdidas

- Cálculo de pérdidas
  - Pérdidas en tubería de impulsión por fricción

$$h_{fd} = \frac{1\,743,811 * L_{tub} * \left(\frac{Q_b}{Coef.}\right)^{1,852}}{\phi_{int}^{4,87}}$$

$$h_{fd} = \frac{1\,743,811 * 276,72 * \left(\frac{27,99}{140}\right)^{1,852}}{7,61^{4,87}}$$

$$h_{fd} = 5,26 \text{ m}$$

- Pérdidas singulares en tubería de impulsión (accesorios)

$$v = \frac{\left(\frac{Q_b}{1\,000}\right)}{(0,0254 * \phi_{tub})^2 * 0,25\pi}$$

$$v = \frac{\left(\frac{27,99}{1\,000}\right)}{(0,0254 * 8)^2 * 0,25\pi}$$

$$v = 0,95 \text{ m/s}$$

$$h_{fv} = \frac{k * v^2}{2 * 9,80665}$$

$$h_{fv} = \frac{16,80 * 0,95^2}{2 * 9,80665}$$

$$h_{fv} = 0,78 \text{ m}$$

- Carga dinámica total en línea de impulsión

Ecuación para el cálculo altura manométrica caudal de bombeo para bomba sumergible

$$h_b = h_i + \Delta h_i + e$$

En donde:

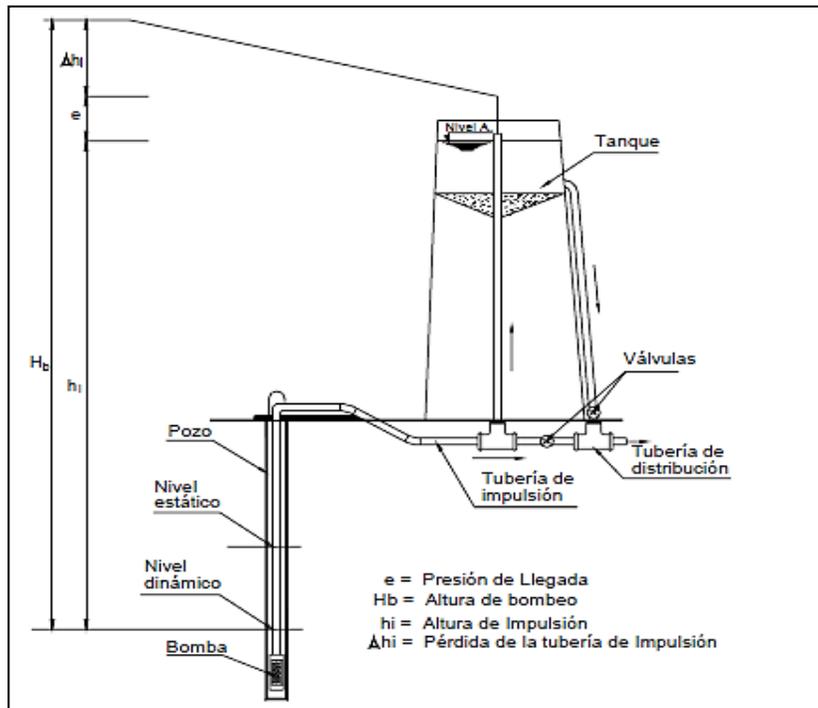
$h_b$  = altura total de bombeo (m)

$h_i$  = altura geométrica de impulsión (m)

$\Delta h_i$  = altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión (m)

$e$  = altura (presión) mínima de llegada al tanque (m) ( $e \geq 2,0$  m)

Figura 3. Diagrama de sistema de bombeo con bomba sumergible



Fuente: Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia. *Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores de 1 000 habitantes*. p. 143.

### 2.1.12. Potencia del equipo de bombeo

La bomba que se utilizará será sumergible de 60 HP, el equipo funcionará con energía eléctrica y el tiempo máximo de bombeo será de 12 horas. La capacidad de la bomba y la potencia del motor deberá ser suficiente para elevar el caudal de bombeo provisto contra la altura máxima de diseño; la eficiencia de la bomba en ningún momento será menor del 75 %. La capacidad del motor deberá calcularse para suministrar la potencia requerida por la bomba (considerando el rendimiento del conjunto), más una capacidad de 10 a 25 % para compensar el desgaste normal del equipo.

La bomba sumergible vertical es la recomendada para este proyecto, debido a que: es más fácil de instalar y más eficiente, de fácil mantenimiento y reparación. También hay que tomar en cuenta que debe ser de etapas múltiples debido a la gran potencia que se requiere.

La bomba sumergible es especialmente diseñada para utilizarse en pozo y como bomba elevadora de presión para sistemas de agua de servicio industrial, comercial y municipal. Utiliza un motor sumergible acoplado directamente al cuerpo de tazones y está diseñado para operar completamente sumergido en el agua o fluido a bombear. La energía eléctrica se suministra al motor mediante un cable a prueba de agua. En aplicaciones de pozo profundo, la bomba motor y cable están suspendidos mediante la columna.

A la salida de los equipos de bombeo deberán proveerse como mínimo los siguientes dispositivos:

- Manómetro de descarga.
- Tubería de limpieza.
- Válvulas de retención y de paso en la línea de descarga.
- Junta flexible en la línea de descarga.
- Protección contra golpe de ariete si fuera necesario.
- Elementos que permitan determinar en cada caso la altura del nivel de bombeo.

Para conocer la potencia de la bomba se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = (Q_b \times H_m) / (76 \times e)$$
$$P = (25,09 \times 137,84) / (76 \times 0,75)$$
$$P = 60 \text{ HP}$$

En donde:

$Q_b$  = caudal de bombeo (l/s)

$H_m$  = carga dinámica total

$e$  = eficiencia de la bomba (75 %)

$P$  = potencia de bombeo (HP)

Para el proyecto se utilizará una bomba sumergible tipo radial con potencia de 50 kW (67 HP).

- Cálculo de motor

Los motores eléctricos que accionan las bombas deberán tener, según las normas oficiales vigentes, una potencia normal según las fórmulas siguientes.

- Para motores trifásicos

$$HP_m = 1,3 * HP_b$$

- Para motores monofásicos

$$HP_m = 1,5 * HP_b$$

En donde:

$HP_m$  = potencia de motor (HP)

$HP_b$  = potencia de equipo de bombeo (HP)

Utilizando la ecuación para motores trifásicos para una bomba sumergible de 67 HP:

$$HP_{\text{motor}} = 1,3 * HP_{\text{bomba}}$$

$$HP_{\text{motor}} = 1,3 * 67$$

$$HP_{\text{motor}} = 100,5 \text{ HP}$$

Se utilizará un motor trifásico de 100 kW (134 HP).

### 2.1.13. Verificación del golpe de ariete

Para la protección del equipo de bombeo y de la tubería de conducción, se deben considerar los efectos producidos por el fenómeno denominado golpe de ariete. Se denomina golpe de ariete a la variación de presión en una tubería, por encima o por debajo de la presión normal de operación; ocasionada por rápidas fluctuaciones en el caudal, producidas por la apertura o cierre repentino de una válvula o por el paro o arranque de las bombas. Este fenómeno puede provocar ruptura de la presión (presión positiva) o aplastamiento (presión negativa).

En algunos casos se puede colocar una válvula de alivio para reducir el golpe de ariete. El golpe de ariete es una onda de presión que se propagará con una velocidad llamada celeridad "a" que se calcula de la siguiente manera:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{k}{E} * \frac{Di}{e}}}$$

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{20700}{30400} * \frac{7,61}{0,51}}}$$

$$a = 424,32$$

En donde:

k = módulo de elasticidad volumétrica del agua. ( $2,07 * 10^4$  kg/cm<sup>2</sup>)

E = módulo de elasticidad del material (kg/cm<sup>2</sup>)

Di = diámetro interno del tubo (plg)

e = espesor de la pared del tubo (plg)

a = celeridad (m/s)

Tabla V. **Valores de módulo de elasticidad volumétrica de materiales**

<b>MATERIAL</b>	<b>E (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
PVC	$3 * 10^4$
Hierro fundido	$1,05 * 10^6$
Acero	$2,05 * 10^6$
Asbesto de cemento	$(1,85 - 2,5) * 10^6$

Fuente: Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia. *Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores de 1 000 habitantes*. p. 154.

La sobrepresión generada se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{a * v}{g}$$

$$P = \frac{424,32 * 27,99}{9,81}$$

$$P = \frac{424,32 * 27,99}{9,81}$$

En donde:

a = celeridad (m/s)

v = velocidad de servicio (m/s)

g = gravedad ( $m/s^2$ )

P = sobrepresión (m.c.a.)

#### **2.1.14. Diseño de tanque de distribución**

En todo sistema, incluyendo aquellos con abastecimiento por gravedad durante las 24 horas del día, debe diseñarse un tanque como mínimo, en esta oportunidad se diseñó con un tanque de concreto ciclópeo, con las siguientes funciones:

- Compensar las demandas máximas horarias esperadas en la red de distribución.
- Almacenar agua en horas de poco consumo, como reserva para contingencias.
- Almacenar cierta cantidad de agua para combatir incendios.
- Regular presiones en la red de distribución.
- Reserva suficiente por eventual interrupción en la fuente de abastecimiento.

Se podría suprimir el tanque de almacenamiento, solo cuando la fuente asegure un caudal superior a 3 veces el consumo medio diario de la población, en cualquier época del año.

En cuanto a la estructura que se va a utilizar, esto dependerá de varios factores: cuando haya niveles topográficos aprovechables, en las cercanías de la localidad, que permiten obtener presiones aceptables con diámetros

económicos, se emplearán tanques de concreto armado sobre el terreno o semienterrados (se prefiere los primeros por el poco mantenimiento que requieren durante su vida útil).

En el diseño de tanques de almacenamiento, la capacidad de los mismos se calcula de acuerdo a la demanda real de las comunidades, en el caso de no contar con estos datos se recomienda que el volumen del tanque esté entre el 25 al 45 % del volumen del caudal de conducción; para este caso, el volumen se calculó de la siguiente manera, utilizando un 40 % del volumen del caudal medio diario por tratarse de un sistema de abastecimiento por bombeo:

$$Q_m = Q_{m} * 86\ 400$$

$$Q_m = 11,66 * 86\ 400$$

$$Q_m = 1\ 007\ 424\ \text{l/día}$$

$$V = Q_{MD} * 45\ \% * 1/1\ 000$$

$$V = 1\ 007,424 * 0,40 * 1/1\ 000$$

$$V = 402,96\ \text{m}^3$$

En donde:

QMD = caudal máximo diario (l/día)

V = volumen

Existe un tanque de distribución con capacidad de 400 metros cúbicos en la aldea Cuchilla del Carmen, por lo que se utilizará este y no se construirá uno nuevo.

### **2.1.15. Obras hidráulicas**

Tienen la finalidad de mantener el equilibrio en el sistema de abastecimiento de agua potable y manipular las velocidades del flujo para conseguir una maniobrabilidad o función específica, ya sea de mantenimiento, recaudación o distribución.

#### **2.1.15.1. Caja reunidora de caudales**

Esta obra de arte se construye con el fin de reunir el caudal de diferentes fuentes de captaciones, dicha caja se diseña de manera que entre el caudal total que se transporta desde la caja de captación hasta un tanque de almacenamiento. Para el presente proyecto no se contempla construir cajas reunidoras de caudales.

#### **2.1.15.2. Caja distribuidora de caudales**

Esta obra de arte se construye con el fin de repartir el caudal de conducción, dicha caja se diseña de manera que entre el caudal total que se transporta desde la caja reunidora de caudales, ubicada en la captación, pasando luego por vertederos rectangulares y de estos a la tubería que conducirá el agua a cada tanque de distribución. Para estos proyectos no se utilizarán.

#### **2.1.15.3. Caja rompe presiones**

Estas estructuras se utilizan para controlar la presión interna de la tubería aliviando o rompiendo la presión en la línea de conducción o distribución. Con ello se evita la falla de la tubería y de los diferentes accesorios cuando la

presión estática de diseño iguala o supera a la presión de trabajo máximo de los mismos. La caja disipa la presión cuando el agua tiene contacto con la atmósfera y disminuye súbitamente su velocidad, al tener un cambio drástico de sección hidráulica.

Dichas estructuras se colocan antes que la presión estática sobrepase los 80 m.c.a. en una línea de conducción y los 60 m.c.a. en la distribución.

Para el caserío Pueblo Viejo se construirán cajas rompe presión con válvula de flote en la estación: E-55.03 (2+219.28).

#### **2.1.15.4. Válvula de limpieza**

Son aquellas que se usan para extraer los sedimentos que se acumulan en los puntos bajos de las tuberías, se colocan únicamente en la línea de conducción, ya que en la distribución los chorros realizan dicha tarea. Es importante hacer notar que en la red se colocarán en puntos o ramales muertos que quedarán provistos para futuras conexiones, ya que en estos el agua permanecerá estancada por largo tiempo. Se estará colocando una válvula de limpieza en la estación E-63 (3+409,69) para proyecto de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen.

Estas válvulas están compuestas por una tee, a la cual se conecta lateralmente un niple y una válvula de compuerta, que se puede abrir, para que por medio del agua se expulsen de la tubería todos los sedimentos acumulados.

#### **2.1.15.5. Válvula de aire**

Estos elementos tienen la función de permitir expulsar el aire acumulado en la tubería en los puntos altos de la misma, evitando con ello la formación de burbujas de aire que bloquean el libre paso del agua. Al igual que las válvulas de limpieza estas solo se colocarán en la línea de conducción, donde son necesarias; estas también deben llevar una caja de mampostería de piedra o concreto reforzado para evitar mal uso de las mismas. Se colocará una válvula de aire en las estaciones: E-14.03, E-56.01 y E-65 para el proyecto en la aldea Cuchilla del Carmen.

#### **2.1.15.6. Válvula de compuerta**

Son válvulas que funcionan mediante el descenso progresivo de una compuerta, lo cual evita que se produzca golpe de ariete, se utilizan para regular el paso del agua en los distintos ramales que componen la red de distribución.

Para el proyecto en la aldea Cuchilla del Carmen no se contemplan válvulas de compuertas puesto que ya existe una red de distribución construida.

#### **2.1.15.7. Pasos aéreos**

Dichos elementos se colocarán donde lo requiera el terreno, ya que si dentro del área de la comunidad existen ríos, quebradas, zanjones y pasos de corrientes invernales, será necesario el uso de los mismos y se construirán de manera tal que la tubería no sufra ningún tipo de fractura o rotura en ese tramo.

Se construirá un paso aéreo en el comienzo de la línea de conducción, cerca al pozo, este paso atravesará una pequeña quebrada para lo cual se aprovechará la estructura existente del puente, específicamente en la estación E-2.

#### **2.1.15.8. Conexiones domiciliars**

El objetivo de todo sistema de agua potable es dotar de esta a los usuarios, de la forma más accesible y esto se logra llegando hasta cada una de las viviendas por medio de la conexión domiciliar, que no es más que instalar desde la tubería de distribución hasta el inicio del predio donde se encuentra la vivienda. Esta obra se compone de lo siguiente:

- Abrazadera domiciliar o tee reductora, depende de los diámetros de existencia en el mercado o tee normal con reductor si fuera necesario.
- Llave de paso.
- Medidor.
- Llave de compuerta.
- Dos cajas para válvulas de cemento de 0,20 x 0,20 x 0,30 m y una caja para contador de 0,30 x 0,30 x 0,50 m.

La aldea Cuchilla del Carmen ya cuenta con una red de distribución con sus respectivas conexiones domiciliars, por lo cual las anteriores no se contemplan para este proyecto.

#### **2.1.16. Caseta de bombeo**

El dimensionamiento de la caseta de bombeo debe ser adecuado para albergar el total de los equipos necesarios para la elevación del agua. Cuando

fuese necesario, la caseta albergará los dispositivos de maniobra y desinfección. Debe permitir facilidad de movimientos, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipos.

El dimensionamiento de la caseta dependerá del tipo de bomba que se emplee. Los casos más comunes son:

- Cuando se emplean bombas estacionarias de eje horizontal y de eje vertical: estarán albergadas en la caseta de bombeo, junto con los motores, generadores, tableros, circuitos y válvulas de accionamiento necesarias.
- Cuando se empleen bombas sumergibles: la caseta de bombeo servirá para alojar los circuitos y tablero de control, eventualmente el generador y válvulas de accionamiento de la línea de impulsión.

Las dimensiones de la sala de bombas deben permitir igualmente facilidad de movimiento, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipamientos y además abrigar, cuando fuere el caso, los dispositivos de servicio para maniobra y movilización de las unidades instaladas.

#### **2.1.17. Sistema de desinfección**

Aunque no se requiera de la construcción de una planta de purificación de aguas convencionales, el tratamiento mínimo que se le debe dar al agua es la desinfección con el fin de entregarla libre de organismos patógenos, que son los causantes de enfermedades en el organismo humano. También se debe prever una protección adicional contra la contaminación en una red de distribución.

La mayoría de agua que se encuentra en los ríos, lagos y mares de Guatemala, se puede decir que se encuentra contaminada. Es por ello que el agua que se va a utilizar para el abastecimiento de una población cualquiera, puede estar contaminada, en cuyo caso es de vital importancia desinfectarla.

Para el área rural, este proceso se puede ejecutar de una manera más sencilla que en el área urbana. Para tratar el agua y hacerla apta para el consumo humano existen procesos unitarios de tratamiento que alteran la condición específica inicial del agua. Generalmente, el proceso más común es la desinfección, cuyo proceso está destinado a destruir o dificultar el desarrollo de microorganismos de significado sanitario.

En este caso se puede citar su acción contra microorganismos patógenos, algas y bacterias ferroreductoras. Antes de tomar una decisión acerca de qué tratamiento se le dará a la misma, deben realizarse análisis fisicoquímicos y exámenes bacteriológicos precisos, con el fin de determinar las concentraciones de los diferentes parámetros físicos y químicos y de conocer el grado de contaminación bacteriológica, si se pudieran realizar.

Los métodos químicos más empleados para la desinfección son: el yodo, la plata y el cloro, siendo este último el más recomendable debido a su bajo costo y alta efectividad.

#### **2.1.17.1. Desinfección por medio de cloro**

La desinfección del agua mediante cloración, introducida por primera vez a comienzos del siglo XX, fue quizás el evento tecnológico más importante en la historia del tratamiento del agua. La cloración de abastecimientos de agua en países en vías de desarrollo es sumamente importante. Ha resultado ser el

procedimiento más práctico y económico para desinfectar el agua por medios químicos. El saneamiento deficiente, que resulta en la contaminación fecal de las fuentes de agua, plantea frecuentemente la amenaza más grande a la salud humana.

En muchos casos, la cloración efectiva de los abastecimientos de agua ha logrado una reducción sustancial de aquellas enfermedades entéricas que primariamente están relacionadas con el agua. Estudios recientes, aún en progreso, han enunciado la posibilidad de que los compuestos orgánicos (halogenados) formados cuando se añade cloro al agua, puedan causar ciertas formas de cáncer en el hombre. Debido al número de variables involucradas, hasta ahora no se dispone de ninguna evidencia definitiva. Por otro lado, las propiedades desinfectantes del cloro están bien establecidas y, hasta la fecha, deben compensar los posibles efectos laterales surgidos cuando se les usa para salvaguardar la salud pública.

Aunque la operación destruye los microorganismos patógenos y otras muchas bacterias, no se usa para esterilizar el agua, cosa que no es necesaria. El cloro es un agente muy activo, que reacciona rápidamente con las materias orgánicas e inorgánicas contenidas en el agua, por este motivo, al desinfectar el agua, debe añadirse una cantidad suficiente de cloro para que esas reacciones sea completas y quede además cloro residual para ejercer una acción bactericida.

El cloro es un gas tóxico de color amarillo-verdoso, que se encuentra en la naturaleza solo en estado combinado, principalmente con el sodio como sal común. Tiene un olor característico penetrante e irritante, es más pesado que el aire y se le puede comprimir para formar un líquido claro de color ámbar. El

cloro líquido es más pesado que el agua. Se vaporiza bajo temperatura y presión atmosférica normal.

Comercialmente se fabrica el cloro mediante la electrólisis de salmuera, con producción de soda caustica e hidrógeno como productos secundarios. Como gas seco, el cloro no es corrosivo, pero ante la presencia de humedad se vuelve altamente corrosivo para todos los metales, excepto la plata y el plomo.

El cloro es ligeramente soluble en el agua, aproximadamente 1 por ciento por peso en 10 °C. Para que el cloro pueda hacer efecto, es necesario que haya estado en contacto con el agua un período de más o menos 20 minutos, contados a partir del momento de la aplicación. La dosis que se le debe colocar a agua, va a depender del grado de contaminación que se encuentre en el agua.

Por otra parte, aun cuando el agua no esté contaminada, es muy importante que las tuberías y las estructuras sean desinfectadas antes de que el sistema se ponga en operación. Esta limpieza se logra haciendo circular agua a través del sistema y descargándolas por todas las salidas. Después de ello, se llena con agua e hipoclorito de calcio, permitiendo un período de contacto de por lo menos 24 horas antes de proceder a vaciarlo. Luego de ello ya se puede poner en marcha el sistema.

En la tabla se muestra cómo se puede determinar la preparación de una solución al 0,1 % a partir de hipoclorito de calcio con diferentes porcentajes de concentración, así como los volúmenes de esta solución que deben aplicarse para poder obtener una dosificación de 1 miligramo/litro.

Tabla VI. **Hipoclorito necesario para preparar solución al 0,1 %**

Volumen de solución requerida (litros)	Porcentaje de concentración de hipoclorito					
	65 %	66 %	67 %	68 %	69 %	70 %
1	1,54	1,52	1,49	1,47	1,45	1,43
2	3,08	3,03	2,99	2,94	2,90	2,86
10	15,38	15,15	14,93	14,71	14,49	14,29
25	38,46	37,88	37,31	36,76	36,23	35,71
50	76,92	75,76	74,63	73,53	72,46	71,43
75	115,38	113,64	111,94	100,29	108,70	107,14
100	153,85	151,52	149,25	147,06	144,93	142,86
300	461,54	454,55	447,76	441,18	434,78	428,57
500	769,23	757,58	746,27	735,29	724,64	714,29
600	923,08	909,09	895,52	882,35	869,57	857,14
1 000	1 538,46	1 515,15	1 492,54	1 470,59	1 449,28	1 428,57

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo.* p. 125.

### 2.1.17.2. Sistema de dosificación de cloro

La aplicación de los equipos dosificadores utiliza como productos desinfectantes a los compuestos del cloro como: la cal clorada, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio. Como la aplicación es para el ámbito rural, se descartó la aplicación del producto de cloro gaseoso (instalación costosa para pueblos pequeños).

Los principales dosificadores como el sistema dosificador por goteo o flujo constante, hipoclorador por difusión y el dosificador por erosión de tabletas, que se emplean principalmente en la zona rural, se describen a continuación.

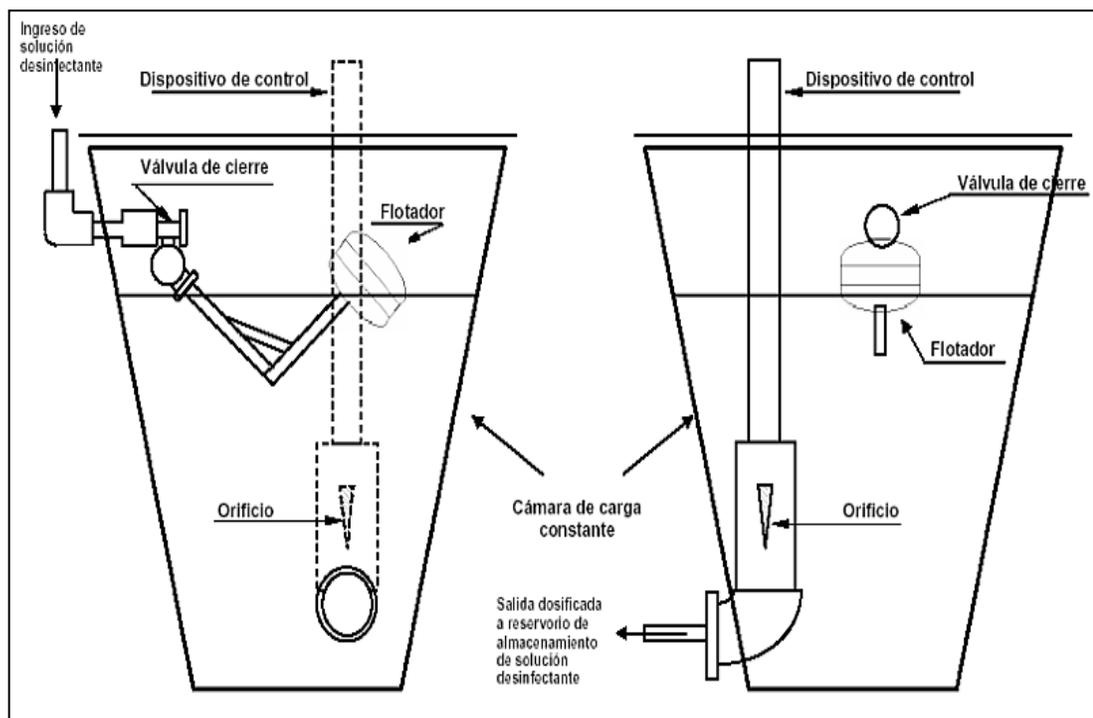
- Dosificador de flujo constante (por goteo)

El dosificador aplicado está compuesto de tres partes: la válvula de control, el dosificador de salida y la cámara de carga constante.

- Válvula de cierre: conformado por un dispositivo de plástico, similar al empleado en el control del nivel de agua en los inodoros, modificado y adecuado a la cámara de carga constante. Este dispositivo consta de tres partes: a) válvula de cierre con asiento de neopreno de alta duración; b) palanca de unión entre la válvula y el flotador; c) flotador. La válvula va montada en la parte superior de la pared lateral de la cámara de carga constante y se conecta al tanque que contiene la solución de hipoclorito de sodio.
- Dispositivo de control: compuesto por dos partes: a) el orificio de salida; b) el dispositivo regulador de caudal. El orificio es de forma triangular, hecho en la parte lateral de una pieza plástica (niple), roscado internamente y fijada a la pared de la cámara de carga constante. El regulador de caudal es una pieza tubular plástica con rosca exterior, que se desplaza por el interior de la pieza plástica que contiene el orificio triangular, lo que permite regular finamente la abertura, obteniéndose un caudal uniforme de salida de la solución desinfectante por largos períodos de tiempo.
- Cámara de carga constante: compuesto por un balde plástico de dos litros de capacidad. La válvula de cierre está ubicada en la pared lateral del recipiente y la salida se encuentra a 90 grados respecto a la válvula de cierre. De esta manera, la válvula de cierre permite que el nivel de agua se mantenga constante dentro

del recipiente plástico, independientemente de la presión que proporcione el tanque de alimentación o de la descarga que proporcione el dispositivo de control. El dispositivo de control al disponer de una carga constante, permite también dosificar un caudal constante y uniforme. En la figura 4 se muestra los detalles del dosificador.

Figura 4. **Dosificador de flujo constante**



Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo.* p 126.

- Dosificadores de tabletas y píldoras de hipoclorito de calcio:

Es uno de los sistemas más modernos de cloración de agua y consiste en disolver pastillas o tabletas de tricloro con el paso del agua. El alimentador de tricloro es un recipiente en forma de termo que alberga tabletas, cuyo tamaño depende directamente del caudal de agua y del consumo necesario de tabletas de tricloro para potabilizar el agua.

Las tabletas o pastillas tienen un tamaño de tres pulgadas de diámetro por una pulgada de espesor con una solución del 90 % de cloro y un 10 % de estabilizador; su peso es de 200 gramos.

Dentro de este sistema de cloración existen dos formas de instalación, que dependen directamente del diámetro de la tubería. Para diámetros desde  $\frac{1}{2}$  hasta 2 pulgadas, el alimentador se usa en línea con la tubería de la línea de conducción. Este sistema inyecta de forma directa la solución a la tubería. Para diámetros de tuberías mayores de 3 pulgadas, es utilizado el sistema en paralelo.

Los alimentadores se clasifican según la capacidad de almacenamiento de tabletas en su interior. Se identifican con la siguiente nomenclatura.

CL 100 = capacidad de almacenar = 10 tabletas máximo

CL 110 = capacidad de almacenar = 15 tabletas máximo

CL 200 = capacidad de almacenar = 20 tabletas máximo

CL 220 = capacidad de almacenar = 36 tabletas máximo

CL 250 = capacidad de almacenar = 50 tabletas máximo

CF 500 = capacidad de almacenar = 66 tabletas máximo

CF 1100 = capacidad de almacenar = 110 tabletas máximo

El alimentador paralelo se ubica uno o dos metros antes de llegar al tanque de distribución; se coloca en forma paralela a la línea de conducción, tomando de esta una acometida que abastecerá el termo del agua necesaria para disolver las tabletas que estarán alojadas en su interior.

El alimentador estará funcionando mientras circule agua en la línea de conducción convirtiéndose así, en un sistema automático dependiente del agua que sea bombeada de la fuente al tanque de distribución.

- Cuantificación de consumo de tabletas de tricloro

#### Datos

Para un caudal de 214 667 gal/min se consumen 0,00184 libras de tricloro. Para 184,8 gal/min que lleva la línea de conducción se necesita Ct. El tiempo de funcionamiento es de 24 horas.

- Consumo de tricloro (Ct) haciendo regla de 3:

$$\frac{214\ 667\ \text{gal/min}}{0,00184\ \text{libras}} = \frac{184,8\ \text{gal min}}{\text{Ct}}$$

$$\text{Ct} = 0,00158\ \text{lb}$$

- Gramos por hora de consumo de tricloro (Ght):

$$\frac{0,00158\ \text{lb}}{\text{dosificación}} = \frac{1\ \text{lb}}{0,4536\ \text{kg/min}}$$

$$\text{dosificación} = 0,00072 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 0,72 \frac{\text{g}}{\text{min}}$$

$$\text{Ght} = 0,72 \frac{\text{g}}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}$$

$$\text{Ght} = 43,2 \text{ g/hr}$$

- Gramos por día de consumo de tricloro (Gdt):

$$\text{Gdt} = \text{Ght} * 24$$

$$\text{Gdt} = 1\ 036,8 \text{ g/día}$$

- Cantidad de tabletas para disolver:

Peso de la tableta de tricloro = 200 gr

$$\text{Tabletas diarias a disolver} = \frac{\text{gramos por día de tricloro}}{\text{peso de la tableta de tricloro}}$$

$$\text{Tabletas diarias a disolver} = \frac{1\ 036,8}{200} = 5,18 \approx 5 \text{ tabletas diarias}$$

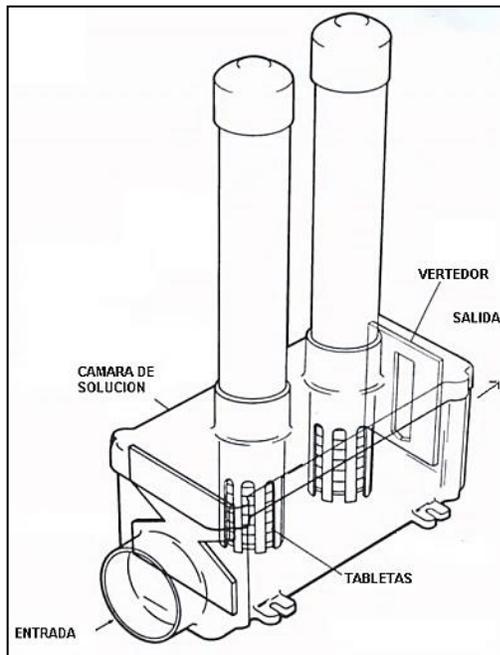
En donde:

Ct = consumo de tricloro (lb)

Ght = consumo de tricloro por hora (g/hr)

Gdt = consumo de tricloro diario (g/día)

Figura 5. **Dosificador de tabletas y píldoras de hipoclorito de calcio**



Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo.* p 127.

Para el buen funcionamiento del sistema de cloración es necesario mantener un mínimo de 13 tabletas de tricloro en el interior del alimentador; por el número de tabletas que se van a utilizar, el alimentador recomendado es el CF 1100, que posee una capacidad de almacenamiento de 110 tabletas y duraría para aproximadamente 20 días.

Para determinar con exactitud el tiempo de colocación de nuevas tabletas, en el alimentador se debe analizar el agua constantemente. Cuando el rango de cloración baje de lo normal (según normas que establece el Ministerio de Salud

Pública y Asistencia Social) será el momento de colocar nuevas tabletas en el recipiente, teniendo como parámetro el uso de cinco tabletas diarias.

### **2.1.18. Presupuesto**

Una vez se ha concluido el diseño, en el que se han definido los componentes del sistema de agua, el siguiente paso consiste en la definición del presupuesto, el cual es parte fundamental de la planificación de los proyectos.

La elaboración del presupuesto debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Obtener el listado de materiales necesarios para la ejecución del proyecto.
- Contemplar todos los gastos que se necesitarán para cubrir todos los rubros del proyecto.
- Definir los costos unitarios de los componentes de un presupuesto.
- Definir un presupuesto por componentes y por renglones, así como la propuesta de financiamiento.

#### **2.1.18.1. Costos unitarios**

Se realizaron precios unitarios por renglón de trabajo, integrando en cada uno de ellos los costos de mano de obra, materiales y sobre la sumatoria de los anteriores se aplicaron porcentajes de gastos administrativos, utilidad e impuestos.

Estos consisten en describir detalladamente cada uno de los costos por renglón de trabajo, se suman los costos de todos los materiales a utilizar y la

mano de obra a contratar a la que se le integran las respectivas prestaciones de los trabajadores:

- Prestaciones laborales del trabajador: 48 % del subtotal de mano de obra.
- Cuota patronal IGSS: 10,4 % sobre el subtotal de mano de obra.
- Cuota patronal Intra: 1,2 % sobre el subtotal de mano de obra.
- Cuota patronal Intecap: 0,5 % sobre el subtotal de mano de obra.

La suma de estos 2 subtotales es el costo total del renglón en bruto, es decir, sin integrar los costos de gastos administrativos (20 % del costo total), utilidad (20 % del costo total) y el impuesto al valor agregado (12 % del costo total). Los costos unitarios se encuentran en el apéndice A.

#### **2.1.18.2. Costo total del proyecto**

El costo total se deduce tras sumar el precio de cada uno de los renglones de trabajo. Es un dato de importancia para la Municipalidad por ser definitorio para el presupuesto anual de la misma.

Tabla VII. Presupuesto general del proyecto

PRESUPUESTO GENERAL					
PROYECTO:		CONSTRUCCION SISTEMA DE AGUA POTABLE (LÍNEA DE CONDUCCIÓN), DEL POZO DE LA ALDEA LA SALVADORA I HACIA CUCHILLA DEL CARMEN, SANTA CATARINA PINULA			
Núm.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Q)	TOTAL (Q)
1	TRABAJOS PRELIMINARES				26 744,29
1.01	Trazo y nivelación	5 537,12	m	4,83	26 744,29
2	LÍNEA DE CONDUCCION				3 884 683,31
2.01	Demolición y extracción de carpeta de rodadura (asfalto)	83,60	m <sup>2</sup>	91,64	7 661,10
2.02	Demolición y extracción de carpeta de rodadura (concreto hidráulico)	30,68	m <sup>2</sup>	98,90	3 034,25
2.03	Demolición y extracción de banquetas	1 441,92	m <sup>2</sup>	91,49	131 921,26
2.04	Demolición y extracción de cuneta	1 981,12	m	75,88	150 327,39
2.05	Caseta de bombeo	1,00	u	64 916,05	64 916,05
2.06	Excavación para instalación de tubería y tanque de succión	3 440,66	m <sup>3</sup>	88,11	303 156,55
2.07	Base de material selecto de 0,10 m de espesor para instalación de tubería y obras de arte	346,00	m <sup>3</sup>	219,46	75 933,16
2.08	Tubería PVC Ø 6" 160 Psi	463,51	m	333,96	154 793,80
2.09	Tubería PVC Ø 6" 250 Psi	886,17	m	517,33	458 442,33
2.10	Tubería HG de Ø 6" tipo liviano	179,04	m	915,73	163 952,30
2.11	Tubería PVC Ø 4" 160 Psi	2 068,94	m	223,17	461 725,34
2.12	Tubería PVC Ø 4" 250 Psi	1 531,06	m	323,62	495 481,64

Continuación de la tabla VII.

2.13	Tubería PVC de Ø 3"	270,97	m	117,09	31 727,88
2.14	Tubería HG de Ø 3" tipo liviano	137,43	m	999,29	137 332,42
2.15	Construcción de caja rompe-presión + válvula de flote	1,00	u	15 478,74	15 478,74
2.16	Caja para válvulas	10,00	u	2 343,98	23 439,80
2.17	Paso de zanjón	1,00	u	15 233,83	15 233,83
2.18	Relleno y compactación con material extraído	1 174,31	m <sup>2</sup>	84,75	99 522,77
2.19	Relleno y compactación con material selecto	1 813,09	m <sup>2</sup>	217,72	394 745,95
2.20	Reposición de carpeta de rodadura (asfalto) de 0,10 m de espesor	83,60	m <sup>2</sup>	418,37	34 975,73
2.21	Reposición de carpeta de rodadura (concreto hidráulico) de 0,15 m de espesor	30,68	m <sup>2</sup>	316,21	9 701,32
2.22	Reposición de banquetas de 0,10 m de espesor	1 441,92	m <sup>2</sup>	175,91	253 648,15
2.23	Reposición de cuneta	1 981,12	m	170,81	338 395,11
2.24	Limpieza y retiro de material sobrante	5 537,12	m	10,68	59 136,44
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>		<b>Q 3 911 427,61</b>			

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.19. Propuesta de tarifa

Una tarifa por el servicio de agua potable es necesaria, debe contar con un programa de operación y mantenimiento adecuado, para garantizar su sostenibilidad en el período para el cual ha sido diseñado. Se debe contar con recursos suficientes para operar el sistema, darle mantenimiento preventivo y cuando lo amerite correctivo. Estos recursos se pueden obtener a través del pago de una tarifa mensual por parte de los beneficiarios de la aldea La Catocha y el caserío El Posthe, se puede calcular en un período no mayor de 5 años, ya que en el área rural es difícil que acepten incrementos constantes por el servicio. La tarifa se calculará contemplando los costos siguientes.

Tabla VIII. Datos generales de diseño del proyecto

DATOS DEL PROYECTO		
DATO	UNIDAD	CANTIDAD
Dotación	l/hab/día	125,00
Caudal máximo diario (CMD) o de Bombeo	l/s	25,09
Densidad de vivienda		5,00
Consumo básico mensual	m <sup>3</sup> /mes	19 406
Número actual de conexiones	Núm.	1 035,00
Long. línea de conducción o impulsión	Km	5,537
HP de la bomba	HP	200,00
Núm. de horas de bombeo	hora	24,00
Costo del equipo de bombeo	Q	434 850,00
Costo del proyecto (agua potable)	Q	4 132 232,24

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Datos económicos del proyecto

DATO	UNIDAD	CANTIDAD	OBSERVACIONES	
Inflación anual	%	0		
Salario mínimo día	Q/día	71,40	Fuente: <a href="http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/preguntasfrecuentes/de-rechos-laborales/35-salario-minimo">http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/preguntasfrecuentes/de-rechos-laborales/35-salario-minimo</a>	
Costo de sodio	Q/gal	13,00	Fuente: precio al 02/13	
Costo de la electricidad (bombeo)	Q/kwh	1,56	Fuente: precio asumido Q 1,95/hora (cuando es bombeo)	
Costo combustible	Q/gal	35,00		
Viáticos	Q/día	100,00		
<b>OPERACION</b>				
DATO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Q)	OBSERVACIONES
Hipoclorito de sodio	gal/mes	300,00	4 100,00	(dos. 1mg Cl/l; hipoclorito sodio + Q 200,00 mantenimiento, equipo de inyección)
Contabilidad /cobranza	U	1,00	4 000,00	
Fontaneros	U	1,00	2 750,00	(Q 2 750,00/mes por fontanero)
Energía Eléctrica	kwh/mes	35 186,0	54 890,16	$(HP \cdot \text{horas bombeo} \cdot 0,241 \cdot Q/kwh \cdot 365)/12$
<b>Subtotal</b>			<b>65 740,16</b>	
<b>MANTENIMIENTO</b>				
DATO	UNIDAD	COSTO (Q)	OBSERVACIONES	
Mantenimiento del sistema	0,00300	1 033,06	(3 por millar del costo del proyecto/12 meses)	
Mantenimiento del equipo de bombeo	0,1	3 623,75	10 % anual (costo del equipo de bombeo)/12 meses	
Reserva por reposición equipo de bombeo	0,1	3 623,75	10 % anual (costo del equipo de bombeo)/12 meses	
<b>Subtotal</b>		<b>8 280,56</b>		

Continuación de la tabla IX.

<b>ADMINISTRACIÓN</b>				
<b>DATO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Papelería	U	1 035,00	1 035,00	(Q 1,00 / conexión) estimado
Viáticos	U	2	200,00	(Núm. días de viáticos por trámites administrativos * Q 100,00 /día)
	<b>Subtotal</b>		<b>1 235,00</b>	
<b>TOTAL COSTOS</b>			<b>Q 75 255,72</b>	

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.20. Cronograma de ejecución**

El cronograma de ejecución indica el avance físico de cada renglón en tiempos ligados a rendimientos de trabajo. El rendimiento de trabajo es el tiempo medio que demora un grupo de obreros asignados para la construcción de algún renglón específico.

Estos rendimientos de trabajo que fueron adquiridos con el tiempo, por supervisores de obras que han tomado tiempos medios de avance de cada actividad existente en el ámbito de la construcción, fueron obtenidos de la base de datos de la Oficina Municipal de Planificación (OMP).

### **2.1.21. Estudio de impacto ambiental**

En primer lugar se señalan a las comunidades que son las más afectadas cuando hay un proyecto de carácter ambiental, ya que implica una serie de

cambios. Actualmente se ha visto afectada tanto la salud de los pobladores del lugar, porque las aguas residuales son descargadas sobre la superficie del suelo, provocando la formación de lodo, la proliferación de zancudos que transmiten enfermedades; por lo que la población está teniendo una participación negativa en el ambiente

La base del sistema es una matriz, en la cual las entradas de las columnas son las acciones del hombre que pueden alterar el medio y las entradas de las filas son los factores ambientales susceptibles de alterarse, con estas entradas en columnas y filas se pueden definir las interacciones existentes.

Para este proyecto, se procedió a dar valores en el rango de -5 a 5 al resultado de cada acción sobre cada factor ambiental, los valores muestran si el impacto será positivo o negativo, el color rojo representa el impacto negativo, el color amarillo representa el impacto positivo y el color blanco representa impacto neutro.

Según la matriz de Leopold, este proyecto no tendrá impacto ambiental negativo permanente, este solo sucederá durante el período de construcción, donde el suelo sufrirá un leve cambio por ser removido al momento de la excavación, provocando dificultades en el tránsito y posibles problemas de polvo. Como impacto ambiental positivo, se tiene la eliminación de aguas residuales, que fluyen sobre la superficie del suelo, eliminando con esto la posibilidad de contaminación de la capa freática y además la eliminación de fuentes de proliferación de enfermedades.

Tabla X. **Matriz de Leopold**

			ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS									
			Modificación del régimen			Transformación del territorio				Operación y mantenimiento		
			Alteración cubierta y terrestre	Ruido y vibraciones	Excavación de zanjas	Drenaje pluvia	Tratamiento de aguas negras	Operación de conducción en tuberías	Eliminación de aguas residual	Impacto en ambiente	Importancia de impacto	
FACTORES AMBIENTALES	Físico químico	Tierra	Suelos	0	0	-1	2	3	1	3	8	
				5	4	3	5	5	5	5		32
		Agua	Calidad	1	0	2	5	5	5	5	23	
				3	2	3	5	5	4	5		27
		Atmosfera	Calidad	1	-1	0	4	4	4	4		
				2	2	3	2	4	3	5		
	Inundaciones		0	0	2	5	3	4	3	33		
			5	2	1	5	3	5	3		45	
	Condiciones biológicas	Procesos	Compactación	1	0	-2	3	3	2	2	9	
				3	2	4	4	2	3	3		21
		Flora	Arboles	0	0	0	-1	2	0	2		
				5	3	2	2	2	2	2		
			Cosecha	-1	0	-1	3	3	3	3	13	
				4	4	2	5	5	4	5		47
	Fauna	Macro fauna	0	-1	0	1	2	2	3	7		
			3	3	3	4	3	4	3		23	
	Factores culturales	Uso del territorio	Agrícola	2	2	0	5	5	4	5		
				3	1	2	5	4	4	5		
			Zona residencial	2	-3	-2	5	5	5	5	40	
				5	4	4	5	5	5	5		57
		Nivel cultural	Culturas o forma de vida	-2	-2	-2	4	4	4	4		
				3	3	3	5	5	4	4		
			Salud y seguridad	1	0	0	4	4	4	4		
				3	4	5	5	5	5	5		
Empleo		0	0	0	0	0	0	0	27			
		3	2	3	5	4	4	4		84		
Servicio e infraestructura		Red de transporte	-2	-2	0	2	0	1	1			
			5	3	5	3	3	2	2			
	Servicios	-2	-1	-2	3	3	3	4	8			
		4	3	4	5	4	4	4		51		

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Diseño del pavimento rígido de la calle principal de la aldea El Carmen, municipio de Santa Catarina Pinula**

La comunicación intermunicipal es trascendental para el desarrollo del municipio de Santa Catarina Pinula, esta es la razón principal por la cual se ha determinado realizar el diseño de esta carretera.

### **2.2.1. Descripción del proyecto**

La calle principal de la aldea El Carmen es una de las principales vías de comunicación que cuenta con la mayor cantidad de población en el municipio de Santa Catarina Pinula.

Debido al alto desgaste de la actual estructura de la carretera se sufren constantes desperfectos mecánicos que crean situaciones como congestionamientos vehiculares y accidentes de tránsito.

Esta carretera conforma una vía directa que comunica la aldea El Carmen de municipio de Santa Catarina Pinula con la aldea Boca del Monte del municipio de Villa Canales, siendo así una de las principales vías de transporte para el comercio y actividades diarias de la población.

La carretera tiene una longitud de 4,01 kilómetros y se consideró como una carretera Tipo B. La carretera es de doble vía y el ancho de carril es de 3,6 metros. Se diseñó drenaje transversal y longitudinal tomando en cuenta información hidrológica como el coeficiente de escorrentía y el tiempo de concentración de la región.

Con el diseño del nuevo pavimento rígido se conformará una carretera moderna y segura para el usuario que como consecuencia traerá beneficios al desarrollo socioeconómico de la aldea El Carmen y demás comunidades aledañas.

### **2.2.2. Topografía**

Dependiendo del tamaño y tipo del proyecto, habitantes a ser beneficiados, características del terreno, aparatos a emplearse y errores permisibles, los levantamientos topográficos a realizarse pueden ser de primero, segundo o tercer orden, según la complejidad del proyecto. En este caso se utiliza topografía de primer orden, ya que el tramo es considerablemente pequeño, pero necesita de mucha precisión y los errores deben ser casi imperceptibles. El levantamiento topográfico realizado fue de primer orden (error más probable de la base de 1/1 000 000 y máximo error de cierre angular de 3”).

#### **2.2.2.1. Planimetría**

También llamado control horizontal. La planimetría solo tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario (vista en planta) que se supone que es la superficie media de la tierra; esta proyección se denomina base productiva y es la que se considera cuando se miden distancias horizontales y se calcula el área de un terreno. Aquí no interesan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del terreno. La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie de la tierra se hace mediante la medición de ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal.

El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina poligonal base y es la que conforma la red fundamental o esqueleto del levantamiento, a partir de la cual se referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales y/o artificiales de interés. La poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico. Como resultado de los trabajos de planimetría se obtiene un esquema horizontal.

El método utilizado es el de poligonal abierta ya que se utiliza cuando de una sola estación no se domina todo el sector a levantar y es necesario utilizar más estaciones. La posición de una segunda estación se determina desde la primera por radiación y la posición de una tercera desde la segunda por el mismo procedimiento. El método de la poligonal se utiliza para ligar entre sí las diferentes estaciones de un mismo levantamiento.

#### **2.2.2.2. Altimetría**

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

El método utilizado fue el de nivelación por alturas geométricas, ya que es el más exacto, se verifica por medio de la diferencia de las distancias de dos puntos a un plano horizontal.

### **2.2.3. Estudios de suelos**

En todo proyecto de pavimentación a realizar se debe tener conocimiento de las características del suelo. El diseño del pavimento se basa en los resultados de los ensayos del laboratorio efectuados con el material de suelo del lugar a construir.

#### **2.2.3.1. Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo.

Los parámetros de correlación más útiles, obtenidos a partir de la determinación de los límites de Atterberg son: el índice de plasticidad IP, el índice de liquidez IL, el índice de contracción IC y el grado de actividad de las arcillas Ac. Con estos resultados se evalúa el potencial de contracción y expansión, así como la resistencia, compresibilidad y compactibilidad del suelo.

Para el pavimento de la aldea El Carmen este ensayo de límites se describe como arena limosa color café oscuro y de material no plástico, según AASHTO T-89 y T-90 (ver apéndice).

#### **2.2.3.2. Análisis granulométrico**

El ensayo consiste en clasificar las partículas de suelo por tamaños, representándolos luego en una gráfica. El tipo de ensayo que se realizó fue de análisis granulométrico, con tamices, según la clasificación AASHTO T-27 (ver apéndice).

### **2.2.3.3. Ensayo de contenido de humedad**

El contenido de humedad es la relación entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno, expresada en porcentaje o cantidad de agua presente en el suelo. Este es el ensayo más usado pues se utiliza en los ensayos de compactación para el contenido de humedad (Proctor), el ensayo de valor soporte, los límites de consistencia y las densidades de campo (ver apéndice).

### **2.2.3.4. Ensayo de compactación para el contenido óptimo de humedad (Proctor)**

El ensayo permite conocer las características de compactación de un suelo: humedad óptima y densidad máxima. Existen dos tipos de análisis:

- Proctor estándar
- Proctor modificado

La compactación es el proceso, realizado generalmente por medios mecánicos, de efectuar presiones sobre el material para mejorar su densidad o acondicionar mejor su volumen disminuyendo sus vacíos. En este ensayo se trabaja con el Proctor modificado, según la AASHTO T-180 (ver apéndice).

### **2.2.3.5. Ensayo del valor relativo de soporte del suelo (CBR)**

El ensayo de CBR tiene como función la determinación de la resistencia de un suelo ante un esfuerzo cortante en condiciones de compactación y humedad.

Este ensayo consiste en preparar la muestra del suelo con la humedad óptima encontrada en el ensayo de Proctor modificado, dicha muestra se procede a compactar en 5 capas en un cilindro metálico de 0,075 pies cúbicos de volumen; dicha compactación se realiza con un martillo de 10 libras a una caída libre de 18 pulgadas.

El material debe estar compactado a diferentes porcentajes, esto se logra compactando tres muestras en tres cilindros por separado, las muestras deben ser compactadas a 10, 30 y 65 golpes con el martillo anteriormente descrito. Esto tiene como fin la obtención de distintos grados de compactación. Posteriormente se procede a sumergir en agua las muestras compactadas en los cilindros por un período de 72 horas tomando medidas de hinchamiento a cada 24 horas.

Una vez transcurridas las 72 horas se procede a someter a la muestra a una carga (a velocidad constante) producida por un pistón de 3 pulgadas cuadradas de área, se calculan los esfuerzos para las penetraciones de 0,1 y 0,2 pulgadas.

El CBR es expresado como un porcentaje del esfuerzo determinado para hacer penetrar el pistón a 0,1 y 0,2 pulgadas en una muestra de piedra triturada. Este procedimiento de ensayo está regido por la Norma AASHTO STANDARD T-193. Según el resultado del ensayo CBR el suelo posee un valor soporte de 16 por ciento con una compactación del 95 por ciento, siendo el suelo apto para una subrasante o una subbase (ver resultados del ensayo en anexo).

Tabla XI. **Calidad de subrasante en función del CBR**

<b>CBR (%)</b>	<b>Calidad de subrasante</b>
0 – 3	Muy mala
3 – 5	Mala
5 – 20	Buena
20 – 30	Excelente

Fuente: BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. p. 191.

Tabla XII. **Clasificación del suelo en función del CBR**

<b>CBR</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
0 - 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Subbase buena
50 – 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Fuente: RICO, Alfonso. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. p. 171.

#### **2.2.4. Análisis de resultados**

El análisis de suelos, es una herramienta importante para evaluar la calidad del suelo que se utilizará, previendo si es un suelo óptimo o hay que mejorar sus características para que de una capacidad de carga adecuada.

Tabla XIII. **Análisis de resultados**

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
CSU	SP-SM
PARA	A-4-a
Descripción del suelo	Arena limosa color café oscuro
Límites de Atterberg	Material no plástico
Peso unitario máximo	1 548 T/m <sup>3</sup> (96,6 lb/pie <sup>3</sup> )
Humedad óptima	19,00 %
CBR	16 al 95 % de compactación

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se aprueba el material, este no posee materia orgánica que pudiera afectar su desempeño y cumple con las propiedades mecánicas requeridas.

### **2.2.5. Elementos estructurales de la carretera**

Es toda estructura que está diseñada para soportar las necesidades y demandas al cual se someterá la estructura, esto dependerá del tipo de material que sea empleado y el tiempo de vida útil al cual el proyecto fue diseñado. Los elementos estructurales de una carretera son pavimento, base, subbase, carpeta de rodadura, cunetas, drenajes transversales.

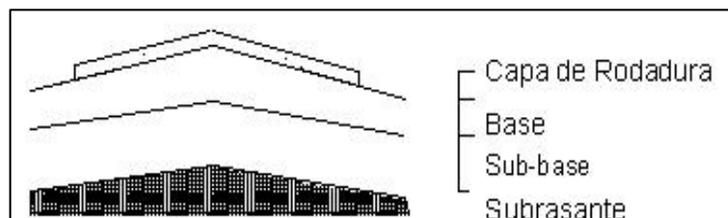
#### **2.2.5.1. Pavimento**

Es toda la estructura que descansa sobre el terreno de fundación o subrasante compactada, y que está formado por una o varias capas de subbase, base y carpeta de rodadura, de materiales adecuadamente

seleccionados, el pavimento soporta y distribuye la carga en una presión unitaria lo suficientemente disminuida para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de fallas. La capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales. La capacidad estructural y funcional está íntimamente relacionada.

En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido, y aún riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. En la siguiente figura se describe las diferentes partes o elementos estructurales de un pavimento.

Figura 6. **Elementos estructurales del pavimento**



Fuente: CASANOVA M, Leonardo. *Elementos de geometría* p. 43.

### 2.2.5.2. Tipos de pavimento

Históricamente hay dos tipos clásicos de estructuras de pavimento, el rígido y el flexible, siendo la principal diferencia entre los dos la forma en que reparten la carga.

### **2.2.5.3. Pavimento rígido**

Los pavimentos rígidos (tradicionalmente de hormigón) tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen cargas sobre un área grande. La principal consideración de diseño es la resistencia estructural del hormigón; pequeñas variaciones en la subrasante tienen poca influencia sobre la capacidad estructural del pavimento.

### **2.2.5.4. Pavimento flexible**

Los pavimentos flexibles consisten en una serie de capas y la distribución de cargas viene determinada por las características del sistema de capas. Se consigue resistencia con la construcción de capas gruesas, en vez de con la torsión de una losa. Los principios básicos de diseño son comunes para ambos tipos: seguro, económico, duradero, perfil liso.

### **2.2.5.5. Consideraciones de pavimento**

En el proyecto de cualquier pavimentación los factores más importantes que hay que tener en cuenta son las características de su base de apoyo, las cargas que ha de soportar en función de su uso, estáticas o dinámicas, la resistencia a la abrasión, según la intensidad de tránsito peatonal, rozamiento por vehículos.

### **2.2.5.6. Subrasante**

Es el suelo natural donde se construirá el pavimento, puede estar formado por un suelo natural mejorado o una sustitución de este. El tipo de suelo que conforma la subrasante, depende de las características que tenga, las cuales se obtienen a través de los ensayos de laboratorio. Los espesores de las

diferentes capas del pavimento, dependen de la capacidad soporte de la subrasante.

Según los resultados del laboratorio la calidad de la subrasante es buena ya que su CBR es de 16 por ciento a una compactación del 95 %, por lo que se encuentra en el rango de 5-20 según tabla XI de calidad de subrasante en función del CBR. La subrasante debe compactarse a un 95 % como mínimo de la densidad máxima obtenida en el laboratorio.

Comúnmente los suelos de mala calidad, son los que tienen materia orgánica y arcilla en exceso. Para evitar los efectos nocivos de este tipo de suelos, la mejor alternativa es sustituirlos. La subrasante, debe compactarse hasta obtener como mínimo el 95 % de compactación en una capa de 30 cm de espesor, con respecto a la densidad máxima obtenida en laboratorio.

Para efectos de este proyecto se debe limpiar el terreno y retirar todo el material, así como todo vegetal que se encuentre en el área de trabajo. La calidad de suelo es ideal para su utilización como subrasante, ya que su CBR dio como resultado un valor soporte de 16 %.

#### **2.2.5.7. Subbase**

Es la primera capa de la estructura destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad, el efecto de las cargas del tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de la subrasante las pueda soportar.

Está constituida por una capa de material granular o estabilizado, de un espesor compactado, según las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante pero en ningún caso menor de 10 ni mayor de 70 centímetros. Deberá estar libre de vegetales, basura, terrones de arcilla, y cualquier otro material que pueda causar fallas en el pavimento. Sus funciones son:

- Eliminar la acción del bombeo.
- Aumentar el valor soporte.
- Servir de capa de drenaje al pavimento.
- Controlar, o eliminar los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material del terreno.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas, o de otras fuentes, protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se producen en época de helada (las heladas tienen una acción muy limitada en los países latinoamericanos).

El material de la subbase debe tener las características de un suelo A-1 o A-2, aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior a 35 % y su índice plástico no mayor de 6, el CBR no debe bajar de 15 %. Si la función principal de la subbase es servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz número 200 no debe ser mayor del 8 %.

#### **2.2.5.8. Base**

Es la capa, que transmite las cargas provenientes de la capa de rodadura, hacia las capas inferiores. Su espesor varía entre 10 y 30 cm. La base evita el ascenso de un suelo fino a la superficie por las juntas, ayuda a evitar los

cambios de volumen de las capas inferiores. Para la base de este proyecto se propone colocar una capa de material selecto de buena calidad que en su mayor parte presente limo arenoso.

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. Además, debe llenar los requisitos de valor soporte el cual debe tener un CBR mayor al 50 %, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de compactación (AASHTO T-180). No se cuenta con un suelo de esta calidad en la localidad del proyecto, por lo que deberá contemplarse otras alternativas.

#### **2.2.5.9. Carpeta de rodadura**

Es la capa que se coloca sobre la base o superficie, formada por una losa de concreto hidráulico (armadas o sin armar), sobre las que soportan las cargas del tránsito, se considera también que tengan otros elementos (no estructurales), para la protección de capas de superficie como las capas internas.

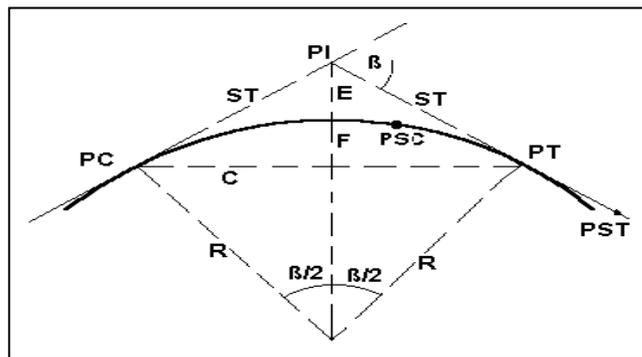
#### **2.2.6. Diseño de curvas horizontales y verticales**

Consiste en el diseño de la línea final de localización en planimetría, mediante el cálculo de las curvas horizontales, las cuales definirán la ruta a seguir; en el proceso de diseño y cálculo se deben considerar varios aspectos técnicos.

Las curvas horizontales forman parte del alineamiento horizontal de una carretera; son arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; pueden ser simples

(solo una curva circular) o compuestas (formadas por dos o más curvas circulares simples, del mismo sentido y diferente radio). Están compuestas por los siguientes elementos:

Figura 7. **Elementos de curva horizontal**



Fuente: CÁRDENAS G, James. *Diseño geométrico de vías*. p. 45.

Tabla XIV. **Simbología de elementos de curva horizontal**

Símbolo	Significado
A	Arco, es la longitud de curva medida en cuerdas de 20 m
C	Cuerda larga, es la cuerda que sub – tiende la curva desde PC hasta PT.
$\beta$	Ángulo de deflexión, formado en el PI
E	External, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz.
F	Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga.
G	Grado, es el ángulo central
LC	Longitud de curva que une PC con PT
PC	Principio de una curva
PI	Punto de inflexión
PT	Punto de tangente
PSC	Punto sobre curva
PST	Punto sobre tangente
R	Radio de la curva
ST	Sub tangente, distancia del PC al PI

Fuente: CÁRDENAS G, James. *Diseño geométrico de vías*. p. 69.

Tabla XV. Clasificación y especificación de las carreteras

T.P.D.	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO K.P.H.	ANCHO DE CALZADA M.	ANCHO DE TERRACERIA		DERECHO DE VÍA M.	RADIO MÍNIMO M.	PENDIENTE MÁXIMA %	DISTANCIA VISIB. PARADA M.		DISTANCIA VISIB. PASO M.	
				CORTE M.	RELLENO M.				MÍNIMA	RECOM.	MÍNIMA	RECOM.
3000 A 5000	TIPO "A"		2*7,20	25	24	50						
	REGIONES											
	LLANAS	100					375	3	160	200	700	750
	ONDULADAS	80					225	4	110	150	520	550
1500 A 3000	MONTAÑOSA	60					110	5	70	100	350	400
	TIPO "B"		7.2	13	12	25						
	REGIONES											
	LLANAS	90					225	6	110	150	520	550
900 A 1500	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSA	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO "C"		6.5	12	11	25						
	REGIONES											
500 A 900	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSA	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO "D"		6	11	10	25						
100 A 500	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSA	40					47	8	40	50	180	200
10 A 100	TIPO "E"		5.5	9.5	8.5	25						
	REGIONES											
	LLANAS	50					75	8	55	70	260	300
	ONDULADAS	40					47	9	40	50	180	200
10 A 100	MONTAÑOSA	30					30	10	30	35	110	150
	TIPO "F"		5.5	9.5	8.5	15						
	REGIONES											
	LLANAS	40					47	10	40	50	180	200
10 A 100	ONDULADAS	30					30	12	30	35	110	150
	MONTAÑOSA	20					18	14	20	25	50	100

Fuente: Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.* p. 29.

Para el diseño es necesario establecer un radio de curva en función de las deflexiones. Después se procede al cálculo de las curvas horizontales. Con la ayuda de la tabla XIII se determina el tipo de carretera y el tipo de terreno, obteniendo de esa manera la velocidad de diseño.

Las normas geométricas de las carreteras variarán según las características topográficas del terreno que atraviesen. Se considerarán los siguientes tipos de terreno:

- Plano
- Ondulado
- Montañoso

Para el diseño del pavimento rígido en la calle principal de la aldea El Carmen, Santa Catarina Pinula, se obtuvo una clasificación de carretera tipo B y una clasificación de terreno montañoso, por lo que la velocidad de diseño optada varía entre 20 y 40 km/h.

En la tabla XIV, se encuentran los radios que deben tener las curvas horizontales según el grado de curvatura escogido, además de otros elementos que son: peralte, sobre ancho y longitud de espiral. Se debe tomar en cuenta que la carretera será tipo B, por lo que en teoría, el radio, mínimo utilizado deberá ser de 47 metros.

Tabla XVI. **Especificaciones para curvas circulares, especificaciones para caminos de penetración, sección típica B**

G	RADIO	20 K.P.H.				30 K.P.H.				40 K.P.H.			
		DB = 10				DB = 11				DB = 12			
		e%	LS	Δ	SA	e%	LS	Δ	SA	e%	LS	Δ	SA
1	1145.92	0.20	11	0.60	0.00	0.50	17	0.80	0.00	0.80	22	1.10	0.00
2	572.96	0.40	11	1.10	0.00	0.90	17	1.70	0.00	1.60	22	2.20	0.00
3	381.97	0.60	11	1.70	0.00	1.30	17	2.50	0.00	2.30	22	3.30	0.60
4	286.48	0.80	11	2.20	0.00	1.70	17	3.30	0.60	3.00	22	4.40	0.60
5	229.18	1.00	11	2.80	0.00	2.10	17	4.20	0.60	3.70	22	5.60	0.60
6	190.99	1.20	11	3.30	0.60	2.50	17	5.00	0.60	4.40	22	6.70	0.60
7	163.70	1.30	11	3.90	0.60	2.90	17	5.80	0.60	5.00	22	7.80	0.60
8	143.24	1.50	11	4.40	0.60	3.30	17	6.70	0.60	5.50	22	8.90	0.60
9	127.32	1.70	11	5.00	0.60	3.70	17	7.50	0.60	6.10	24	10.60	0.65
10	114.59	1.90	11	5.60	0.60	4.00	17	8.30	0.61	6.60	25	12.70	0.70
11	104.17	2.10	11	6.10	0.60	4.40	17	9.20	0.65	7.00	27	15.00	0.75
12	95.49	2.20	11	6.70	0.60	4.70	17	10.10	0.70	7.50	29	17.40	0.80
13	88.15	2.40	11	7.20	0.64	5.00	18	11.70	0.74	7.90	31	19.80	0.85
14	81.85	2.60	11	7.80	0.68	5.40	19	13.40	0.79	8.20	32	22.40	0.90
15	76.39	2.70	11	8.30	0.72	5.70	20	15.10	0.83	8.60	33	24.90	0.95
16	71.62	2.90	11	8.90	0.76	6.00	21	17.00	0.87	8.90	34	27.50	0.99
17	67.41	3.10	11	9.40	0.80	6.20	22	18.90	0.92	9.10	35	30.10	1.04
18	63.66	3.20	11	10.00	0.84	6.50	23	20.90	0.96	9.40	36	32.60	1.09
19	60.31	3.40	11	10.60	0.88	6.80	24	22.90	1.00	9.50	37	35.20	1.13
20	57.30	3.60	12	11.70	0.92	7.00	25	25.00	1.05	9.70	38	37.60	1.18
21	54.57	3.70	12	12.80	0.95	7.30	26	27.20	1.09	9.80	38	40.00	1.23
22	52.09	3.90	13	14.00	0.99	7.50	27	29.40	1.13	9.90	38	42.30	1.27
23	49.82	4.00	13	15.20	1.03	7.70	28	31.70	1.17	10.00	39	44.50	1.32
24	47.75	4.20	14	16.40	1.07	7.90	28	33.90	1.22	10.00	39	46.50	1.36
25	45.84	4.30	14	17.70	1.11	8.10	29	36.20	1.26				
26	44.07	4.50	15	19.10	1.15	8.30	30	38.60	1.30				
27	42.44	4.60	15	20.40	1.19	8.50	30	40.90	1.34				
28	40.93	4.80	16	21.90	1.23	8.70	31	43.30	1.38				
29	39.51	4.90	16	23.30	1.27	8.80	31	45.70	1.42				
30	38.20	5.10	17	24.80	1.30	9.00	32	48.00	1.47				
31	36.97	5.20	17	26.30	1.34	9.10	33	50.40	1.51				
32	35.81	5.30	17	27.90	1.38	9.30	33	52.80	1.55				
33	34.72	5.50	18	29.50	1.40	9.40	33	55.10	1.59				
34	33.70	5.60	18	31.10	1.46	9.50	34	57.40	1.63				
35	32.74	5.70	19	32.80	1.50	9.60	34	59.70	1.67				
36	31.83	5.90	19	34.50	1.53	9.70	34	62.00	1.71				
37	30.97	6.00	20	36.20	1.57	9.80	35	64.20	1.75				
38	30.16	6.10	20	38.00	1.61	9.80	35	66.40	1.79				
39	29.38	6.20	20	39.70	1.65	9.90	35	68.50	1.83				
40	28.65	6.40	21	41.50	1.69	9.9	35	70.60	1.87				
41	27.95	6.50	21	43.40	1.73	10.00	35	72.60	1.92				
42	27.28	6.60	22	45.20	1.76	10.00	36	74.60	1.96				
43	26.65	6.70	22	47.10	1.80	10.00	36	76.50	2.00				

Fuente: Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.* p. 33.

El diseño geométrico de carreteras es un proceso de tanteos hasta que se consigue el óptimo. En los siguientes incisos se calculará cada elemento de la curva 1, a manera de ejemplo.

Datos:

- Deflexión =  $69^{\circ}37'38''$
- Radio elegido = 20 m (en función de la deflexión)
- Estación de inicio = 0+000 en la aldea El Carmen

Las fórmulas utilizadas para calcular los distintos componentes de una curva horizontal están definidas por el grado de una curva (G).

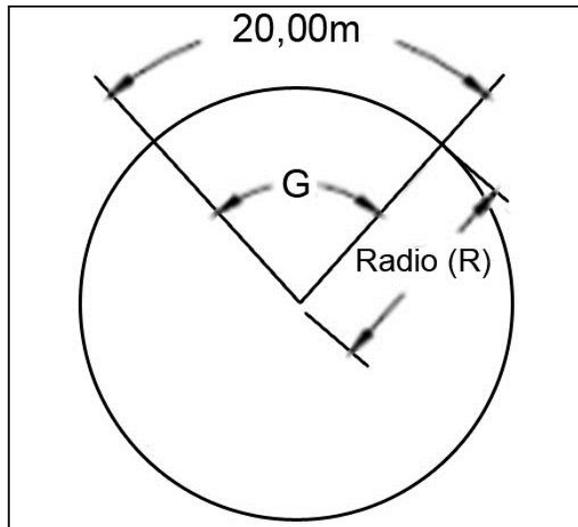
#### **2.2.6.1. Grado de curvatura (G)**

En Guatemala se define como el ángulo central que sobre una circunferencia define un arco de 20 m de longitud. En otra forma, se dice que (G) es el ángulo que subtiende por un arco de 20 m.

$$G = 1\,145,91/R = 1\,145,91/20 = 57,29$$

También es necesario tener las distancias entre los puntos de intersección (PI) de localización y el azimut. De acuerdo a  $\Delta$  (diferencia entre el azimut 1 y azimut 2 que convergen en un PI) y la velocidad de diseño, se escogerá el grado de curvatura (G), para cada curva, utilizando las tablas de especificaciones de la Dirección General de Caminos.

Figura 8. **Grado de curvatura**



Fuente: YLLESCAS PONCE, Álvaro Danilo. *Diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del kilómetro 171+400 carretera Interamericana (CA-1), hacia el caserío Nuevo Xetnamit, del municipio de Nahualá, departamento de Sololá.* p. 22.

### 2.2.6.2. Longitud de curva (Lc)

Distancia desde el PC hasta el PT recorriendo el arco de la curva, o bien, una poligonal abierta formada por una sucesión de cuerdas rectas de una longitud relativamente corta, la cual se puede calcular con la siguiente ecuación.

En donde:

Lc = longitud de curva (m)

G = grado de curvatura

$\Delta$  = diferencia de azimut de entrada menos azimut de salida

Los radios fueron tomados a partir de la lectura de las deflexiones.

$$L_c = \frac{20\Delta}{G} = \frac{20 * (69^\circ 37' 38'')}{57^\circ 17' 40''} = 24,30 \text{ m}$$

### 2.2.6.3. Subtangente (St)

Es la distancia entre el PC y el PI o entre el PI y el PT, en curvas circulares simples forman un ángulo de 90 grados con el radio. La cual se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$St = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 100 * \tan\left(\frac{69^\circ 37' 38''}{2}\right) = 13,90 \text{ m}$$

### 2.2.6.4. Cuerda máxima (Cm)

Es la distancia en línea recta desde el principio de curva PC al principio de tangencia PT, o bien llamado línea recta que une al punto de tangencia donde comienza la curva (PC) y al punto de tangencia donde termina (PT).

$$Cm = 2R * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 2 * 100 * \sin\left(\frac{69^\circ 37' 38''}{2}\right) = 22,84 \text{ m}$$

### 2.2.6.5. External (E)

Es la distancia desde el punto de intersección PI al punto medio de la curva, la cual se puede calcular con la siguiente ecuación y ver todos los externos de la carretera en la tabla XIX resumen de diseño geométrico.

$$E = \frac{R}{\left(\cos \frac{\Delta}{2}\right)} - R = \frac{20}{\left(\cos \frac{69^\circ 37' 38''}{2}\right)} - 20 = 4,36 \text{ m}$$

#### 2.2.6.6. Ordenada media (Om)

Es la distancia dentro del punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima. La cual se puede calcular con la siguiente ecuación y ver todos los externos de la carretera en la tabla XIX resumen de diseño geométrico.

$$O_m = R \left[ 1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right] = 20,00 \left[ 1 - \cos \frac{69^\circ 37' 38''}{2} \right] = 3,58 \text{ m}$$

#### 2.2.6.7. Curvas de transición

Es la curva que va variando de radio según avanza la longitud. Surge debido a la necesidad de interponer un elemento que garantice una continuidad dinámica y geométrica.

La continuidad dinámica apunta al hecho de que la aparición de la fuerza centrífuga ocasionada al modificar la trayectoria se haga de manera gradual, de forma que el conductor pueda efectuar una maniobra de giro suave con velocidad angular constante para adecuarse a este cambio.

Las curvas de transición se intercalan entre las alineaciones rectas y las alineaciones curvas para permitir una transición gradual de curvatura.

La continuidad geométrica va ligada a la anterior y se refiere a la inexistencia de discontinuidades o puntos angulosos entre los elementos geométricos de dos alineaciones consecutivas, como puedan ser la curvatura o el peralte.

Aparte de servir como enlace de otros tipos de alineaciones, la curva de transición se constituye como una alineación más, pudiendo existir tramos de vía compuestos exclusivamente por este tipo de curvas.

#### **2.2.6.8. Bombeo**

Es la pendiente que se le da al camino, para evitar que el agua de lluvia se estanque en la superficie y ocasione problemas de infiltración en las capas de subbase y subrasante, provocando saturación del terreno, ablandándolo, lo cual generará daños a la capa de rodadura. El bombeo sirve para evacuar el agua hacia las cunetas para que no corra longitudinalmente sobre la superficie. El bombeo utilizado en caminos pavimentados varía desde 1/2 a 3 %, en este proyecto se utilizó un bombeo de 2 %.

#### **2.2.6.9. Sobreancho**

Se introduce en las curvas horizontales para mantener las mismas condiciones de seguridad que los tramos rectos, en cuanto al cruce de vehículos de sentido contrario, por las siguientes razones: el vehículo al describir la curva, ocupa mayor ancho que en la tangente, esto es debido a que las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras. En la tabla XVII se pueden observar los valores de diseño recomendados para sobreancho según la AASHTO y en la tabla XIX se encuentran los valores de sobreancho que se utilizaron para cada una de las curvas horizontales del proyecto.

Tabla XVII. Valores de diseño de sobreelevación según la AASHTO

Calzada (m)	7.20								6.60								6.00							
V (Km/h)	Velocidad de diseño (km/h)								Velocidad de diseño (km/h)								Velocidad de diseño (km/h)							
Radio (m)	50	60	70	80	90	100	110	120	50	60	70	80	90	100	110	120	50	60	70	80	90	100	110	
1500	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	
1000	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	
750	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5		0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8		0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	
400	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5				0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8			0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	
300	0.4	0.5	0.5	0.6					0.6	0.7	0.7	0.8	0.8				0.9	1.0	1.0	1.1				
250	0.6	0.7	0.8						0.7	0.8	0.8	0.9					1.0	1.1	1.1	1.2				
200	0.7	0.8							0.9	1.0	1.1						1.2	1.3	1.3	1.4				
150	0.7	0.8							1.0	1.1							1.3	1.4						
140	0.7	0.8							1.0	1.1							1.3	1.4						
130	0.7	0.8							1.0	1.1							1.3	1.4						
120	0.7	0.8							1.0	1.1							1.3	1.4						
110	0.7								1.0								1.3							
100	0.8								1.1								1.4							
90	0.8								1.1								1.4							
80	1.0								1.3								1.6							
70	1.1								1.4								1.7							

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. p. 243.

### 2.2.6.10. Peralte

Es la sobreelevación o superelevación de la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo al recorrer una curva horizontal.

En la tabla XVIII se encuentran los valores de diseño de peralte recomendados según la AASHTO y en la tabla XIX se encuentran los peraltes utilizados en cada una de las curvas horizontales de la carretera.

Tabla XVIII. **Valores de diseño de peralte según la AASHTO**

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de Diseño (Km/h)							
V (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110
<b>Carriles de 3.60 metros</b>								
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	5
0.06	35	35	40	40	50	55	60	65
0.08	45	45	50	55	60	60	65	70
0.1	55	55	60	65	75	75	80	85
0.12	65	65	75	80	90	90	95	105
<b>Carriles de 3.00 metros</b>								
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	30	30	35	40	50	55	60	65
0.08	35	40	40	45	50	55	60	65
0.1	45	45	50	55	60	65	70	75
0.12	55	55	60	65	75	75	80	85

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). A  
*Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* p. 247.

Tabla XIX. **Resumen de diseño geométrico de curvas horizontales**

Núm. CURVA	RADIO (m)	GRADO DE CURVATURA (m)	DEFLEXIÓN Δ (m)	LONGITUD DE CURVA (m)	EXTERNAL (m)	ORDENADA MEDIA (m)	CUERDA MÁXIMA (m)	SUBTANGENTE (m)	SOBREANCHO (m)	PERALTE (m)
C1	20,00	57°17'45"	69°37'38"	24,305	4,36	3,58	22,836	13,907	1,2	0,02
C2	70,00	16°22'13"	73°19'24"	89,581	17,263	13,848	83,592	52,104	1,1	0,12
C3	60,00	19°05'55"	43°42'11"	45,766	4,645	4,311	44,664	24,061	1,1	0,08
C4	200,00	5°43'46"	12°25'04"	43,346	1,18	1,173	43,261	21,758	0,7	0,08
C5	120,00	9°32'57"	23°28'28"	49,165	2,563	2,509	48,822	24,932	0,7	0,08
C6	80,00	14°19'26"	39°04'51"	54,567	4,889	4,608	53,516	28,393	1,0	0,1
C7	30,00	38°11'50"	64°35'30"	33,82	5,49	4,641	32,057	18,962	1,2	0,06
C8	36,50	31°23'48"	59°12'02"	37,711	5,478	4,763	36,056	20,734	1,2	0,06
C9	100,00	11°27'33"	28°41'02"	50,063	3,217	3,117	49,542	25,568	0,8	0,08

Continuación de la tabla XIX.

C10	80,00	14°19'26"	28°53'59"	40,352	2,613	2,531	39,925	20,615	1,0	0,07
C11	69,46	16°29'51"	91°43'33"	111,2	30,285	21,09	99,7	71,584	1,1	0,12
C12	20,00	57°17'45"	145°44'35"	50,874	47,908	14,11	38,226	64,896	1,2	0,08
C13	150,00	7°38'22"	15°23'38"	40,301	1,364	1,351	40,18	20,273	0,7	0,07
C14	100,00	11°27'33"	23°31'58"	41,073	2,146	2,101	40,785	20,83	0,8	0,07
C15	150,00	7°38'22"	95°34'47"	250,227	73,264	49,222	222,206	165,368	0,7	0,12
C16	200,00	5°43'46"	12°09'45"	42,456	1,132	1,125	42,376	21,308	0,7	0,08
C17	160,00	7°09'43"	62°24'01"	174,255	27,055	23,142	165,769	96,9	0,7	0,12
C18	80,00	14°19'26"	33°32'24"	46,831	3,553	3,402	46,165	24,108	1,0	0,08
C19	50,00	19°05'55"	46°20'27"	40,44	4,387	4,033	39,347	21,399	1,1	0,07
C20	80,00	22°55'06"	27°59'41"	39,088	2,448	2,375	38,7	19,942	1,0	0,07
C21	60,00	19°05'55"	82°03'49"	85,937	19,539	14,739	78,777	52,216	1,1	0,12
C22	50,00	22°55'06"	93°46'57"	81,841	23,165	15,831	73,006	53,415	1,1	0,12
C23	60,00	19°05'55"	94°13'47"	98,677	28,166	19,168	87,926	64,601	1,1	0,12
C24	40,00	28°38'52"	77°11'04"	53,885	11,177	8,736	49,902	31,923	1,2	0,1
C25	50,95	22°29'21"	76°06'14"	67,68	13,753	10,83	62,814	39,84	1,1	0,12
C26	120,00	9°32'57"	19°01'07"	39,833	1,672	1,649	39,65	20,101	0,7	0,07
C27	255,00	4°29'38"	14°56'52"	66,527	2,185	2,166	66,338	33,453	0,6	0,12

Fuente: elaboración propia.

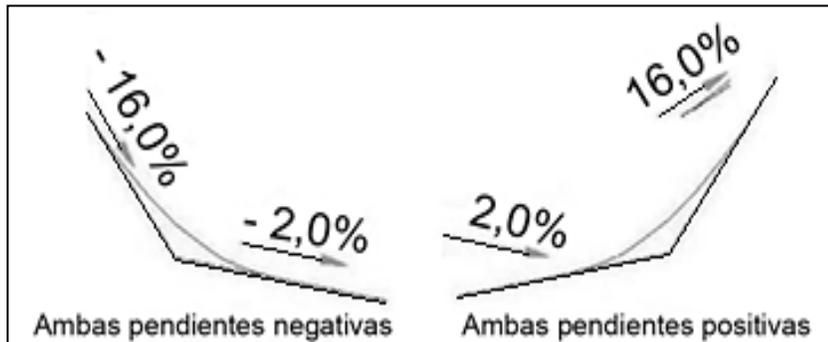
Las carreteras no solo están conformadas por curvas horizontales, sino también por curvas verticales, lo anterior significa que se está trabajando en tres dimensiones, para su diseño y simplificación de trabajo las carreteras se desglosan en planimetría y altimetría.

En la parte de la altimetría se estudian las curvas verticales, que pueden ser cóncavas o convexas, también existen curvas en ascenso con ambas pendientes positivas (convexas) y curvas en descenso con ambas pendientes negativas (cóncavas).

La finalidad de las curvas verticales es proporcionar suavidad al cambio de pendiente, estas curvas pueden ser circulares o parabólicas aunque la más usada en el país por la Dirección General de Caminos es la parabólica simple, debido a la facilidad de cálculo y a su gran adaptación a las condiciones de terreno. Las especificaciones para curvas verticales dadas por la Dirección General de Caminos están en función de la diferencia algebraica de pendientes y de la velocidad de diseño.

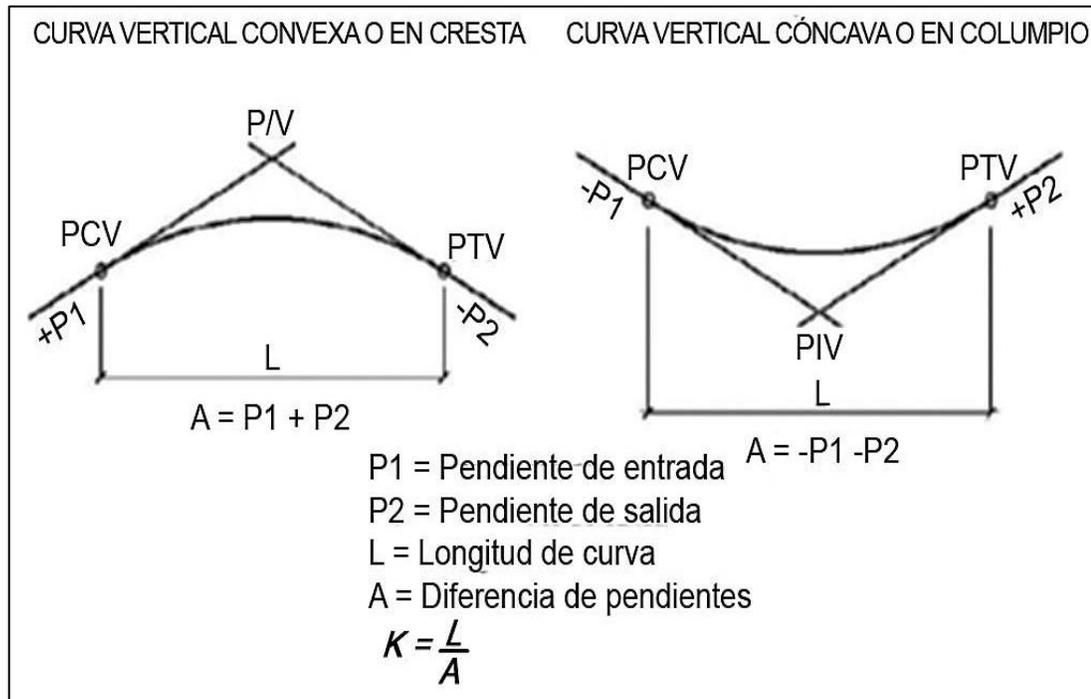
En el momento de diseñar las curvas verticales deben tenerse presentes las longitudes de estas para evitar traslapes entre curvas, dejando también la mejor visibilidad posible a los conductores. En diseños de carreteras para áreas rurales; se ha normalizado entre los diseñadores usar como longitud mínima de curva vertical la que sea igual a la velocidad de diseño.

Figura 9. **Componentes de curva vertical negativos**



Fuente: CÁRDENAS G, James. *Diseño geométrico de vías*. p. 45.

Figura 10. **Componentes de curva vertical positivos**



Fuente: CÁRDENAS G, James. *Diseño geométrico de vías*. p. 45.

En donde:

$L_{cv}$  = longitud de curva vertical (m)

$K$  = constante que depende de las velocidades de diseño

$A$  = diferencia algebraica de pendientes

En la tabla XVI se muestran los diferentes valores de  $K$  para visibilidad de parada, según la Dirección General de Caminos.

Tabla XX. **Valores de K para curvas cóncavas y convexas**

Velocidad de diseño (KPH)	Valores de K según tipo de curva	
	Cóncava	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: VALLADARES, Jorge Félix. *Guía teórica práctica del curso de Vías Terrestres 1*. p. 31.

Además existen cuatro criterios que ayudan a determinar la longitud de las curvas verticales, estos son:

#### 2.2.6.11. Criterios de apariencia

Para curvas verticales se verifica el tipo visibilidad completa, si son curvas cóncavas o curvas convexas, todo esto sirve para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

$$K = \frac{LCV}{\Delta} \geq 30, \quad \Delta = P_s - P_e$$

$$K = \frac{185}{1,4} = 132,14 \geq 30, \quad \Delta = 1,33 - 2,73 = 1,4$$

En donde:

$P_s$  = pendiente de salida (%)

Pe = pendiente de entrada (%)

Lcv = longitud de curva vertical (m)

K = constante que depende de las velocidades de diseño

Este criterio no aplica para las curvas verticales convexas, por lo que se obvia para este caso.

#### **2.2.6.12. Criterio de comodidad**

Para curvas verticales cóncavas en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo, al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo.

$$K = \frac{LCV}{\Delta} \geq \frac{V^2}{395}$$

$$K = 132,14 \geq \frac{20^2}{395}$$

$$K = 132,14 \geq 1,01$$

Este criterio no aplica para las curvas verticales convexas, por lo que se obvia para este caso.

#### **2.2.6.13. Criterio de drenaje**

Para curvas verticales convexas y cóncavas, alojadas en corte. Se utiliza para que la pendiente en cualquier punto de la curva sea adecuada para que el agua pueda escurrir fácilmente.

En el punto más alto de la cresta de una curva vertical convexa con pendiente S1 y S2 de diferente signo se tiene un corto tramo a nivel (pendiente = 0 %), que dificulta el drenaje longitudinal, para lo cual la AASHTO-2004 considera que un valor de A igual a cero punto seis por ciento (0,6 %) en un tramo de la curva igual a treinta metros (30 m), provee el adecuado drenaje en el sector más plano de la curva.

$$K = \frac{LCV}{\Delta} \leq 43$$

$$K = 132,14 \leq 43$$

Este criterio no aplica para las curvas verticales convexas sin cambio de dirección en sus pendientes de entrada y salida, por lo que se obvia para este caso.

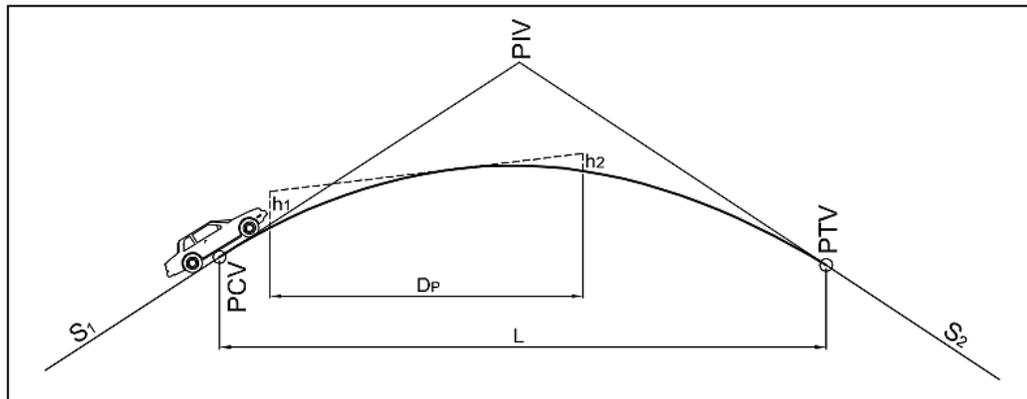
#### **2.2.6.14. Criterio de seguridad**

Es la visibilidad de parada, la longitud de curva debe permitir que a lo largo de ella la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. Se aplica a curvas cóncavas y convexas.

De acuerdo con el criterio de seguridad, la longitud mínima se obtiene mediante la aplicación de la Distancia de Visibilidad de Parada (DP). Se presentan dos relaciones entre la distancia de visibilidad (DP) y la longitud de la curva (L): Cuando  $DP < L$  y  $DP > L$ . Las ecuaciones que se indican a continuación presentan la longitud de la curva para cada relación, teniendo en cuenta la altura del ojo de conductor sobre la calzada ( $h_1$ ), que es igual a un

metro con ocho centímetros (1,08 m), y la altura del obstáculo ( $h_2$ ), que es igual a sesenta centímetros (0,60 m).

Figura 11. **Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical**



Fuente: Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia. *Manual de diseño geométrico para carreteras.* p. 78.

Cuando  $DP < L$  (ver figura 11):

En donde:

$L_{mín}$  = longitud mínima de la curva, en metros

$A$  = diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje

$DP$  = distancia de visibilidad de parada, asociada a la velocidad específica de la curva vertical (VCV), en metros.

$h_1$  = altura del ojo del conductor, en metros  $h_1 = 1,08$  m

$h_2$  = altura del obstáculo, en metros  $h_2 = 0,60$  m

Para obtener la longitud de curva mínima se tiene:

$$LCV = K_{min} * A$$

$$LCV = 1,0 * 1,4 = 1,4$$

Los valores para  $K_{min}$  se extraen de la siguiente tabla:

Tabla XXI. Valores de  $K_{min}$

VELOCIDAD ESPECÍFICA $V_{cv}$ (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE $K_{min}$				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 <sup>(1)</sup>
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 <sup>(1)</sup>
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.7	73.0	78

<sup>(1)</sup> La adopción de este valor tiene como finalidad garantizar unas mínimas condiciones de estética a las carreteras, y por consiguiente de comodidad para los usuarios.

Fuente: Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia. *Manual de diseño geométrico para carreteras.* p. 84.

Tabla XXII. **Resumen de diseño geométrico de curvas verticales**

Núm. curva	Lc (m)	EST. PIV	ELEV. PIV	OM (m)	Rasante corregida (m)
1	185,00	0 + 162,370	1 556,59	-0,324	1 556,20
2	195,00	0 + 639,064	1 562,92	-2,820	1 563,10
3	240,00	1 + 220,240	1 503,40	0,594	1 503,55
4	140,00	1 + 458,670	1 474,26	1,310	1 474,50
5	100,00	1 + 600,000	1 467,56	0,460	1 466,60
6	355,00	1 + 886,947	1 464,55	4,171	1 465,05
7	190,00	2 + 537,738	1 396,50	1,077	1 396,30
8	200,00	2 + 879,892	1 376,26	1,317	1 375,90
9	200,00	3 + 150,350	1 375,15	1,149	1 375,40
10	288,00	3 + 576,756	1 352,03	-0,731	1 352,15
11	222,76	3 + 810,100	1 331,92	-1,219	1 332,10

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.7. **Hombros o bordillo**

Se recomienda la construcción de hombros o bordillo de concreto con el fin de prevenir accidentes en la carretera, asimismo, con su construcción se asegura una reducción del espesor de losa.

El bordillo disminuye el efecto de tensión en el concreto al funcionar como viga lateral y aumentar la resistencia del concreto a esfuerzos de flexión. Para este diseño se ha contemplado una sección 10 x 15 cm para ambos lados de la vía. Se utilizará concreto en proporción en volumen (cemento, arena, pedrín) y se fundirá conjuntamente con la capa de rodadura del pavimento.

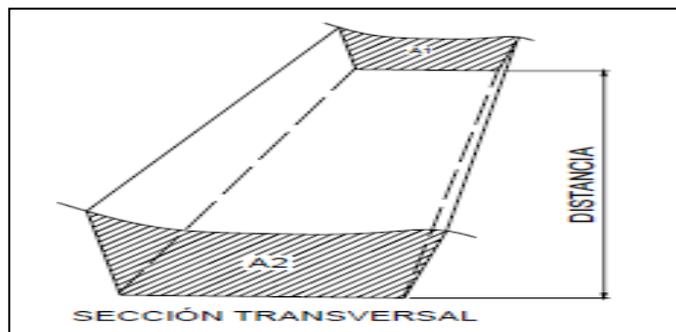
## 2.2.8. Movimiento de tierras

En la construcción de carreteras, esta es una de las actividades de mayor importancia, ya que afecta considerablemente en el costo de la misma. Por esto el movimiento de tierras debe ser lo más económico posible, dentro de los requerimientos que el tipo de camino especifique.

### 2.2.8.1. Cálculo de áreas de secciones transversales

Para el cálculo de las áreas de las secciones transversales de la línea de localización, primero se dibujan estas a cada 20 metros, con la sección típica de la carretera tipo B para regiones montañosas. Para esta sección se tienen establecidos los taludes de corte y relleno según su altura.

Figura 12. Ejemplo de sección transversal



Fuente: CASANOVA M, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-24.

Se puede utilizar el método gráfico, el cual permite medir las áreas por medio de un planímetro graduado, para la realización de la medida de las secciones que deben estar dibujadas en papel milimetrado.

Otro método utilizado para el cálculo de área es el de determinantes, en el que con las coordenadas de los puntos que delimitan las áreas de corte y relleno se calcula el área.

Tabla XXIII. **Ejemplo de cálculo de área transversal por determinantes**

X	Y
X0	Y0
X1	Y1
X2	Y2

$$a = \sum (X * Y) \quad b = \sum (Y * X)$$

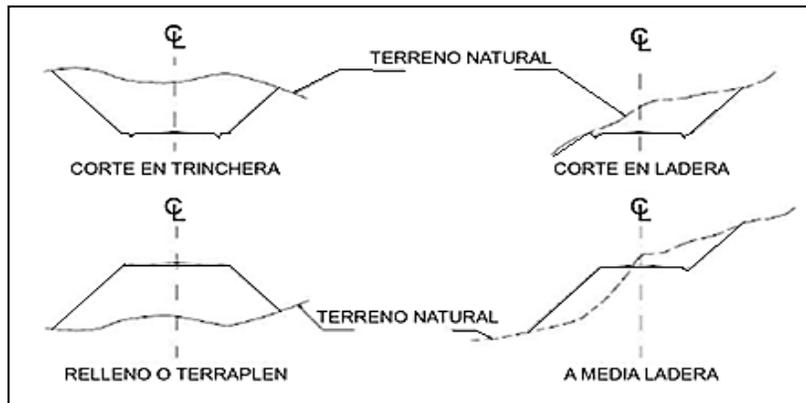
$$\text{ÁREA} = \frac{|a - b|}{2}$$

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.8.2. **Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras**

Este se realiza a partir de secciones transversales tomadas perpendicularmente a lo largo del eje central a cada 20 metros. Las secciones transversales pueden ser corte en: trinchera, ladera, relleno o terraplén y a media ladera.

Figura 13. Tipos de secciones transversales



Fuente: CASANOVA M, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-24.

Cada una de las áreas calculadas anteriormente, constituye en un lado de un prisma de terreno que debe rellenarse o cortarse, suponiendo que el terreno se comporta en una manera uniforme entre las dos estaciones, se hace un promedio de sus áreas y se multiplica por la distancia horizontal entre ellas, se obtiene así los volúmenes de corte y relleno en ese tramo.

Los métodos más utilizados para el cálculo de los volúmenes correspondientes al movimiento de tierra, son el método de las áreas medias y el método del prismoide. Se utilizó en este caso, el método de las áreas medias en donde el volumen entre dos secciones consecutivas del mismo tipo, en corte o en relleno (ver figura 12), está dado por:

$$V = \frac{A1 + A1}{2} * d$$

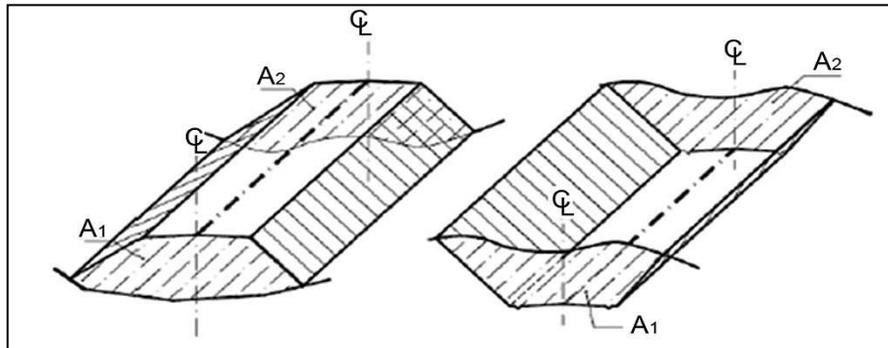
En donde:

V = volumen entre ambas secciones (m<sup>3</sup>)

A1, A2 = áreas de secciones consecutivas en (m<sup>2</sup>)

D = distancia entre secciones en metros (en este caso 20 m)

Figura 14. **Volumen entre secciones del mismo tipo**



Fuente: CASANOVA M, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-25.

Cuando existen dos secciones consecutivas de diferente tipo, se genera una línea de paso a lo largo de la cual la cota del terreno coincide con la cota de la superficie de subrasante. En este caso, se generará un volumen de corte y uno de relleno entre ambas secciones (ver figura 14).

Se asume que la línea de paso es perpendicular al eje. El volumen de corte entre el área de corte A y el área de la línea de paso que es cero, y el volumen de relleno entre el área de relleno AR y el área de la línea de paso, se calculan de la siguiente manera:

$$V_C = \frac{1}{2} * (A_C + A_0) * d_C, \quad V_R = \frac{1}{2} * (A_R + A_0) * d_R$$

$$A_0 = 0$$

En donde:

VC, VR = volumen de corte y de relleno (m<sup>3</sup>)

AC, AR = áreas de las secciones en corte y relleno (m<sup>2</sup>)

A<sub>0</sub> = área de la sección en la línea de paso = 0

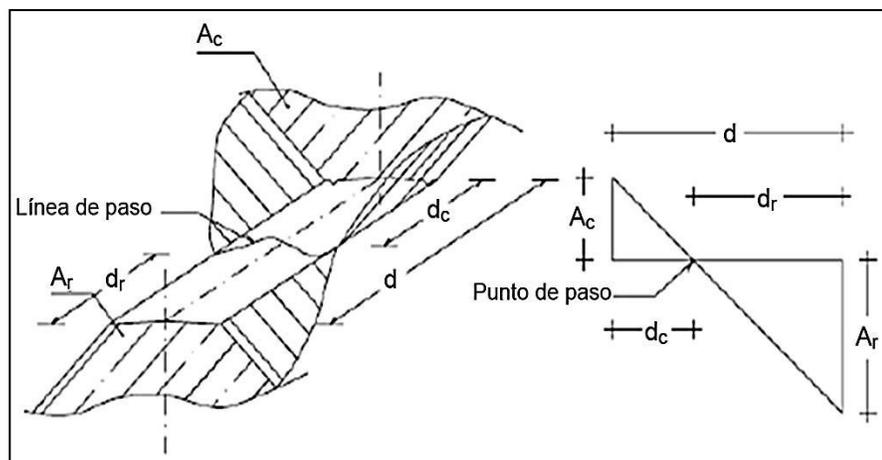
d<sub>C</sub>, d<sub>R</sub> = distancias de corte y relleno (m)

Por medio de relación de triángulos se determinan los valores de d<sub>c</sub> y d<sub>r</sub>, de la siguiente manera:

$$d_C = \frac{A_C}{A_C + A_R} * d, \quad d_R = \frac{A_R}{A_R + A_C} * d$$

Para observar la tabla de volúmenes y secciones transversales, ver plano de áreas transversales en el apéndice.

Figura 15. **Volumen entre secciones de diferente tipo**



Fuente: CASANOVA M, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-25.

## **2.2.9. Método y procedimiento de diseño para la carretera**

Para el diseño de la carretera es necesario verificar todos los parámetros, ya que con un adecuado procedimiento y un buen diseño se podrá alcanzar la vida útil del proyecto que depende de la calidad de los materiales y de la vida útil que se estime para el proyecto.

### **2.2.9.1. Diseño de capa base**

Constituye la capa de material selecto que se coloca encima de la subbase 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. Debe tener un valor soporte CBR, mínimo de 30 %, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de compactación (AASHTO T-180).

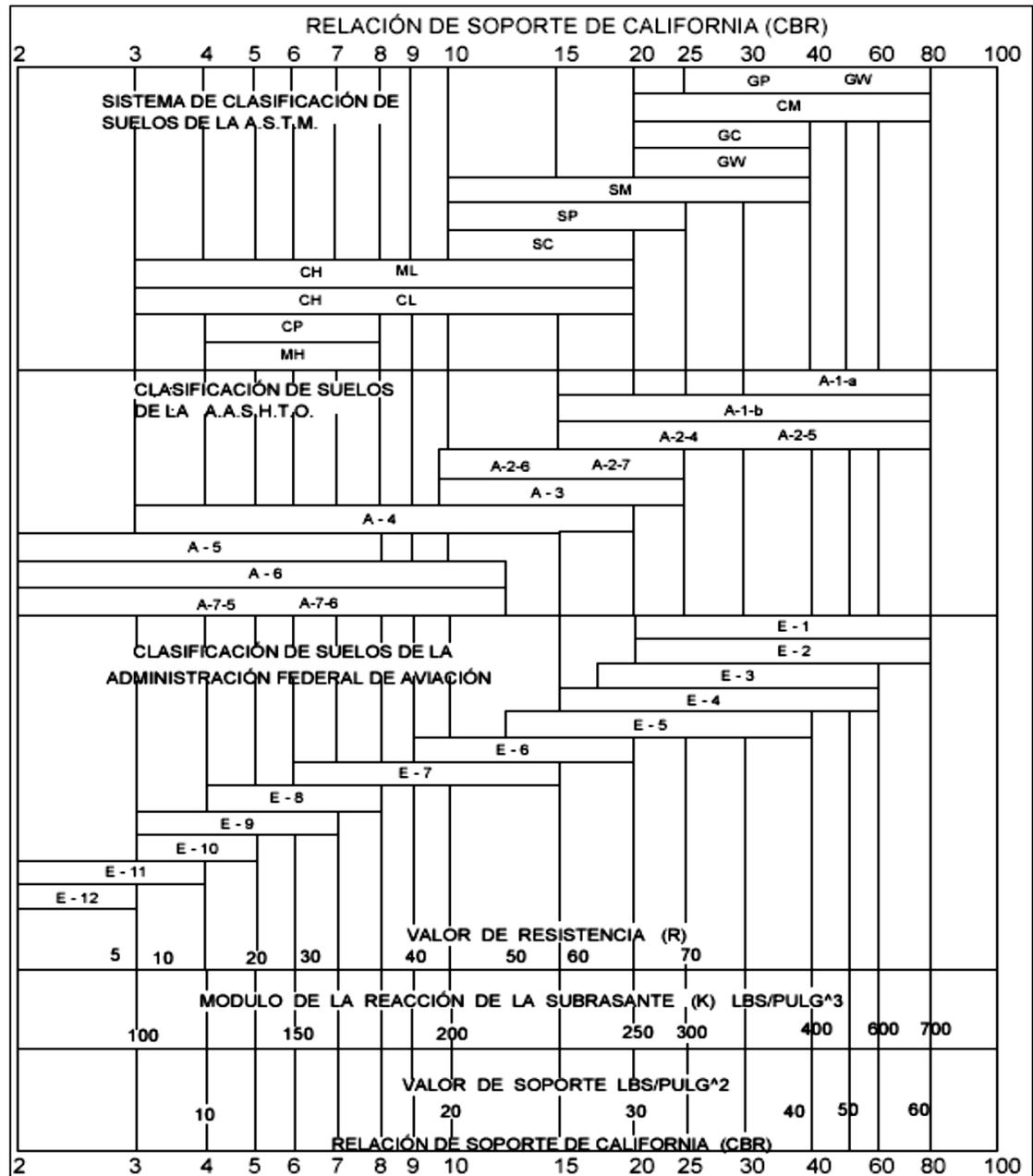
Según los ensayos de laboratorio dieron como resultado un CBR de 16 %; el valor de K, haciendo la correlación en la figura 16, debe ser de 235 PSI. Al agregar una base de 4 pulgadas el valor de K aumenta. Utilizando los datos de la tabla XXIV y por interpolación se obtuvo que el nuevo valor de K es de 255 PSI.

Tabla XXIV. **Espesor de capa base**

<b>Valores de K para subrasante + subbase</b>				
<b>Subrasante valores de K (PSI)</b>	<b>Valores de K (PSI) para subrasante + capa de subbase</b>			
	<b>4 Plg</b>	<b>6 Plg</b>	<b>9 Plg</b>	<b>12 Plg</b>
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
230	250	260	300	350
300	320	330	370	430

Fuente: LONDOÑO, Cipriano. *Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto*. p. 150.

Figura 16. **Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos**



Fuente: LONDOÑO, Cipriano. *Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto*. p. 201.

### **2.2.9.2. Diseño de pavimento rígido**

Existen dos métodos para el cálculo del espesor de pavimentos rígidos: (1) método de capacidad y (2) método simplificado (según Portland Cement Association (PCA)).

### **2.2.9.3. Método y procedimiento de diseño para pavimento rígido**

Dado que existen diferentes tipos de pavimentos, se consideró utilizar para este proyecto un pavimento rígido debido a los siguientes factores que afectarán los costos, la resistencia necesaria y la calidad del material del sector:

- Dificultad en el acceso a la zona.
- Costos de cada tipo de pavimento.
- Tránsito pesado por camiones y vehículos de carga para las zonas del al tramo.

Para el diseño del espesor de pavimentos rígidos existen dos métodos elaborados por la Portland Cement Association (PCA).

### **2.2.10. Método para el diseño de pavimento rígido AASHTO-93**

Las variables que intervienen para el diseño de pavimentos rígidos son tomadas con base en un conocimiento empírico, por lo que es importante conocer y entender las consideraciones que tienen que ver con cada una de ellas. La fórmula que propone la guía AASHTO 93 para el diseño del espesor de la losa de pavimento rígido se muestra en la ecuación:

Figura 17. Ecuación para determinar espesor de losa por AASHTO-93

$$\log W_{18} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Error Estándar Combinado} \\ Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log \Delta PSI}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ \text{Desviación Estándar Normal} \end{array} \right. + (4.22 - 0.32 \rho_t) \log \left( \frac{\text{Módulo de Ruptura} \cdot \text{Coeficiente de Drenaje} \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right)$$

Tráfico
Serviciabilidad Final
Módulo de Ruptura
Coeficiente de Drenaje
Diferencia de Serviciabilidad
Espesor

Coficiente de Transferencia de Carga
Módulo de Elasticidad
Módulo de Reacción

Fuente: CORNEJO, Nestor; VELÁSQUEZ, William. *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido*. p. 12.

En donde:

W82 = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas

Zr = desviación normal estándar

So = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado

D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros

ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y final

Pt = índice de servicialidad o servicio final

Mr = resistencia media del concreto a flexotracción en 28 días (Mpa)

Cd = coeficiente de drenaje

- J = coeficiente de transmisión de cargas  
EC = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa  
k = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie de la subrasante.

La guía AASHTO 93 propone la solución de la ecuación por medio de un nomograma, con el cual se obtiene directamente el espesor de la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido. También se puede utilizar programas computacionales para el diseño de pavimentos, tal como el WinPAS, desarrollado por la ACPA exclusivamente para el método AASHTO edición 1993 y el DARwin desarrollado por la AASHTO.

A continuación se describen de manera general las variables involucradas en el diseño de espesores de losa de pavimentos rígidos.

#### **2.2.10.1. Espesor**

Es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño de una estructura de pavimento, el espesor se refiere solamente a la capa de concreto hidráulico que se coloca sobre la subbase y subrasante.

#### **2.2.10.2. Tráfico**

Los resultados de la AASHO Road Test mostraron que el efecto dañino del paso de un eje de cualquier peso puede ser representado por un número de repeticiones de carga, equivalentes a 8,2 toneladas o 18 Kips (ESAL), aplicadas en el carril de diseño durante el período de diseño del pavimento. Esta simplificación se realizó debido a que en la época en que se desarrolló la AASHO Road Test, a principios de 1960, era mucho más sencillo utilizar un solo

número para representar toda la carga por tráfico en las ecuaciones usadas para predecir la vida del pavimento.

El tráfico es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos y una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse; su determinación usualmente se basa en tasas de crecimiento vehicular, las cuales no son muy precisas. La mayoría de los métodos de diseño consideran esta incerteza, y la guía AASHTO 1993 propone el uso de niveles de confiabilidad, los cuales toman en cuenta estas incertezas en la predicción de las cargas del tráfico y su comportamiento.

El tráfico se debe de convertir a ESAL por medio de la multiplicación de varios factores, tal como lo define la guía AASHTO en el anexo F, lo cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$ESAL = \sum \text{núm de vehículos por categoría} * F_{\text{sentido}} * F_{\text{carril}} * F_{\text{crecimiento}} * F_{\text{eje equivalente}}$$

Los factores involucrados en la ecuación se obtienen por medio de recomendaciones, ecuaciones o tablas que se presentan en los anexos A, B, C y D. El factor de eje equivalente convierte los pesos según cada eje de los vehículos a pesos normalizados de 18 kips, considerando el daño que puede causar cada eje en relación al daño que causa el paso de un eje estándar.

### **2.2.10.3. Coeficiente de confiabilidad**

Es la probabilidad que la serviciabilidad o desempeño de la vía se mantenga en niveles adecuados para las cargas del tráfico y condiciones ambientales, así como también se mantenga en niveles adecuados desde el punto de vista del usuario durante todo el período de diseño. Lo anterior no

obstante a que los pavimentos pueden sufrir daños en su estructura debido a las cargas impuestas del tráfico y condiciones ambientales, por lo que deben llevarse a cabo intervenciones que permitan que la vía se comporte en un nivel de operación óptimo. El cuadro de valores de la confiabilidad según el tipo de vía se presenta en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Valores de confiabilidad según la función de la vía**

<b>Confiabilidad</b>		
Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria primaria	80 - 99	75 - 95
Secundaria o colectora	80 - 95	75 - 95
Local o vecinal	50 - 80	50 - 80

Fuente: CORNEJO, Nestor; VELÁSQUEZ, William. *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido*. p. 13.

La confiabilidad depende de diversas circunstancias que intervienen en su selección, como lo es la incertidumbre del volumen del tráfico en los incrementos que pudiesen surgir en el período para el cual se diseñe una vía. La confiabilidad es la variable en la cual se introduce un grado de certidumbre en el diseño y un nivel de seguridad o factor de seguridad (FR), para que el pavimento resista las cargas del tráfico en el período de diseño. El factor de seguridad (FR) depende del nivel de confiabilidad (R) y del error estándar combinado (So).

La desviación normal estándar representa el rango de variación en la predicción del tráfico en el período de diseño y depende del nivel de confiabilidad requerido, como se observa en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Valores de desviación normal estándar para cada valor del coeficiente de confiabilidad**

Confiabilidad R (%)	Desviación normal 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: CORNEJO, Nestor; VELÁSQUEZ, William. *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido*. p. 28.

El error estándar combinado ( $S_o$ ) depende de las condiciones locales y de los demás factores que afectan el comportamiento de un pavimento, entre dichos factores se pueden mencionar: incertidumbre en el modelo, tránsito, medio ambiente, materiales de construcción, entre otros. Se debe emplear un valor del error estándar de 0,30 a 0,40 para pavimentos rígidos, según recomendaciones de la sección 4,3 de la guía AASHTO edición 1993. Se

recomienda también valores de 0,35 para construcción nueva y 0,39 para sobrecapas.

El factor de seguridad es representado por FR y viene dado por la siguiente ecuación:

$$FR = 10^{-Z_R * S_o}$$

#### **2.2.10.4. Módulo de reacción de la subrasante-subbase**

El módulo de reacción de la subrasante-subbase (k), es una constante elástica que define la rigidez del material o resistencia a la deformación. Es la relación entre carga por unidad de área de superficie horizontal del suelo con el asentamiento correspondiente de la superficie; este parámetro representa la capacidad portante que posee un suelo en estado natural o con la combinación de una subbase, siendo este el que servirá para colocar la estructura de pavimento.

Lo anterior lo propuso Westergard en 1926 al suponer que la subrasante - subbase no admite esfuerzos de corte y la reacción de la subrasante sobre la losa es igual a la deflexión de la subrasante multiplicada por una constante (K), la cual es el módulo de reacción de la subrasante - subbase.

#### **2.2.10.5. Pérdida de serviciabilidad**

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento

intransitable y 5 significa pavimento en excelentes condiciones. (AASHTO, 1993, p: II-10). Este factor es una medida subjetiva de la calificación del pavimento; sin embargo, la tendencia es definirla usando parámetros como el índice de regularidad internacional (IRI).

La serviciabilidad inicial ( $P_o$ ) es la condición de un pavimento inmediatamente después de la construcción de este. La guía AASHTO recomienda para pavimentos rígidos un  $P_o = 4,5$  mediante el uso de adecuadas técnicas de construcción. La serviciabilidad final ( $P_t$ ) es la capacidad funcional que se espera tenga un pavimento al final del periodo de diseño. La AASHTO sugiere que para carreteras principales se utilice un valor de  $P_t = 2,5$  o  $3,0$  y para carreteras de bajo nivel un valor de serviciabilidad final de  $2,0$ . (AASHTO, 1993, p: II-10).

El cambio total en el índice de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) viene dado por:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

#### **2.2.10.6. Propiedades del concreto (módulo de elasticidad y módulo de ruptura)**

Las propiedades del concreto que influyen en el diseño de una estructura de pavimento se detallan a continuación:

- El módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ), es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento elástico, es la pendiente de la línea definida por dos puntos de la curva del esfuerzo-deformación, dentro de esta zona elástica. El valor del módulo de

elasticidad del concreto de peso normal se puede obtener según ASTM C39 o AASHTO T22, T140; o en función del esfuerzo a compresión ( $f'c$ ) a una edad de 28 días, según el American Concrete Institute (ACI).

$$EC=57\,000\sqrt{f'c} \text{ [psi]}$$

- La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Se obtiene mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 mm x 150 mm) de sección transversal y un claro de al menos tres veces el espesor; la resistencia a la flexión se expresa como el módulo de ruptura y es determinada mediante el método de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios). [NRMCA, 1998: p.1].

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto se aplica en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, la cual controla el agrietamiento del pavimento sujeto a cargas repetitivas de tráfico pesado.

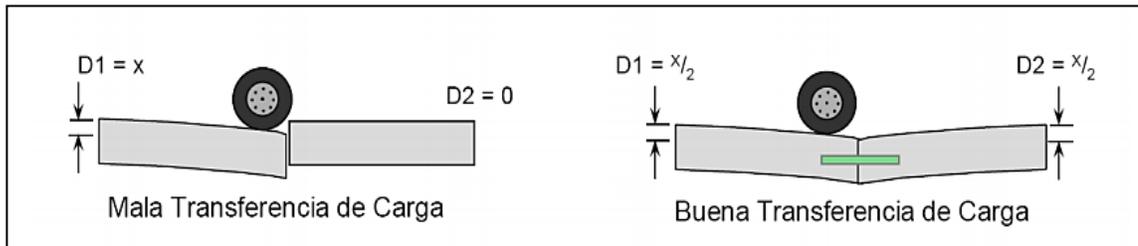
#### **2.2.10.7. Coeficiente de transferencia de carga (J)**

El coeficiente J representa la eficiencia de transferencia de carga que tiene una losa del pavimento al transmitir fuerzas cortantes a las losas adyacentes, esto tiene por objetivo minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. La guía AASHTO edición 1993 explica este factor en su sección 2.4.2.

La transferencia de carga comúnmente se da por medio de barras de acero lisas incrustadas en las losas en las juntas transversales (aunque puede haber otros tipos de mecanismos de transferencia de carga, como la

transferencia a partir de la trabazón de agregados), tal como lo muestra la figura 18. El valor del coeficiente de transferencia de carga se obtiene por medio de la tabla XXVII.

Figura 18. **Esquema de la transferencia de carga entre losas vecinas**



Fuente: CALO, Diego H. *Adaptado del Instituto del cemento Portland argentino ICPA, presentación de diseño de pavimentos rígidos. p. 25.*

Tabla XXVII. **Coeficiente de transferencia de carga**

Coeficiente de transferencia de carga recomendada para varios tipos de pavimento y condiciones de diseño				
Hombro	Asfalto		Concreto de Cemento Portland	
	Sí	No	Sí	No
Tipo de pavimento				
1. Juntas Simples y juntas reforzadas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
2. CRCP	2.9 - 3.2	N / A	2.3 - 2.9	N / A

Fuente: CORNEJO, Nestor; VELÁSQUEZ, William. *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido. p. 30.*

### 2.2.10.8. Coeficiente de drenaje (Cd)

El coeficiente de drenaje fue incorporado en la guía AASHTO para diseño de pavimentos rígidos a raíz de los efectos del drenaje en el desempeño de la estructura de pavimento, tales como el efecto de la humedad en la resistencia de la subrasante y en la erosionabilidad de la subbase. Para obtener el valor del coeficiente de drenaje ver tablas XXIII y XXIV.

Tabla XXVIII. Calidad de drenaje

<b>Drenaje</b>	
<b>Calidad de drenaje</b>	<b>Agua removida en:</b>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Nunca drena el agua

Fuente: CORNEJO, Nestor; VELÁSQUEZ, William. *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido*. p. 166.

Tabla XXIX. **Coefficiente de drenaje**

<b>Coefficiente de drenaje</b>				
	<b>Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra en niveles de humedad cercanos a la saturación.</b>			
<b>Calidad del drenaje</b>	<b>Menos que 1%</b>	<b>1 - 5%</b>	<b>5 - 25%</b>	<b>Más de 25%</b>
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
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: CORNEJO, Nestor; VELÁSQUEZ, William. *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido*. p. 165.

### **2.2.10.9. Determinación de espesor de losa**

Debido a la complejidad de la ecuación para determinar el espesor de losa del método AASHTO-93, se han desarrollado distintos software para su resolución.

En este caso se utilizó el software: “Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)”, desarrollado por el Ingeniero Civil Luis Ricardo Vásquez Varela de Manizales, Colombia. Desarrollado en el 2006.

Figura 19. **Determinación de espesor de losa por medio del software “Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)”**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento

Flexible

Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)

85 %  $Z_r = -1.037$  Ayuda

So 0.39

Serviciabilidades inicial y final

PSI inicial 4.5 Ayuda

PSI final 2.5

Tránsito de diseño

W18 10233098

Pavimento rígido

Diseñar

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in) 230 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi) 4030509 ¿ $E_c/Sc$ ?

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) 500 Espesor de losa D (plg) 10.47

Coeficiente de transmisión de carga - J 2.8 J D redondeado (plg) 10.50

Coeficiente de drenaje -  $C_d$  1 Cd W18 real 10829275

Cálculo de W18 para un D (plg)

D W18

Salir

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Datos utilizados para obtener espesor de losa por el Método AASHTO-93**

<b>Datos utilizados en el software “Método AASHTO para el diseño de pavimentos”</b>	
Tipo de pavimento	Rígido
Confiability (Zr)	85 %
Desviación estándar	0,39
Serviciabilidad inicial	4,5
Serviciabilidad final	2,5
Resistencia a la compresión del concreto (f'c)	5 000 psi
Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	4 030 509 psi
Módulo de rotura del concreto (Sc)	500 psi
Módulo de reacción de la subrasante (k)	230 psi
Coefficiente de transmisión de carga (J)	2,8
Coefficiente de drenaje (Cd)	1,00
Tránsito de diseño (W18)	10 233 098

Fuente: elaboración propia.

El espesor de losa obtenido en el cálculo fue de 10,47 pulgadas, dato que fue aproximado a 10,50 pulgadas para utilizar números más exactos en la construcción.

### **2.2.11. Aforo vehicular**

El factor más importante en la determinación del diseño del espesor de un pavimento, es el número y peso de la carga por eje que pasará sobre él. Este es derivado de las estimaciones de TPD (Tránsito Promedio Diario en ambas

direcciones de todos los vehículos, se obtiene de contadores especiales de tránsito o por cualquier otro método de conteo) y de TPDC (Tránsito Promedio Diario de Camiones en ambas direcciones, carga por eje de camiones, puede ser expresado como un porcentaje).

Se realizó el aforo vehicular para determinar el peso que deberá soportar la estructura de la carretera. Se obtuvo la información de la evaluación del tráfico promedio diario anual como se observa en la tabla XXXI.

Tabla XXXI. **Tráfico promedio diario anual**

**DATOS: conteo de tránsito y cálculo de ejes equivalentes**

**TPDA ENERO 2014**

Tipo de vehículo	AUTO	PU	C2	C3	T3S2	T3S3	MB	BUS	TOTAL
CANTIDAD	755	555	180	140	95	85	65	125	2 000

**PROYECCIONES DE TRÁNSITO: AÑO BASE ENERO 2015**

Tasa de crecimiento	2,5 %	2,5 %	3,8 %	3,8 %	3,8 %	3,8 %	2,5 %	2,5 %	TOTAL
CANTIDAD	793	583	194	151	102	92	68	131	2 115

**PROYECCIONES TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL**

2015	813	598	201	157	106	95	70	135	2 175
2020	876	644	225	175	119	106	75	145	2 365
2025	991	728	271	211	143	128	85	164	2 722
2030	1 121	824	327	254	173	154	96	186	3 135
2035	1 268	932	394	306	208	186	109	210	3 614

**TOTAL DE VEHÍCULOS EN PERÍODO DE DISEÑO: AÑO INICIAL 2015**

PERIODO	AUTO	PU	C2	C3	T3S2	T3S3	MB	BUS
5	1 522 886	1 119 473	382 143	297 222	201 687	180 456	131 109	252 133
10	3 245 892	2 386 053	842 625	655 375	444 719	397 906	279 448	537 399
15	5 195 315	3 819 072	1 397 506	1 086 949	737 573	659 933	447 279	860 151
20	7 400 908	5 440 402	2 066 137	1 606 995	1 090 461	975 676	637 164	1 225 316

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Cálculo de ejes equivalentes parciales**

**TOTAL DE VEHÍCULOS EN PERÍODO DE DISEÑO**

PERIODO	AUTO	PU	C2	C3	T3S2	T3S3	MB	BUS
5	1 522 886	1 119 473	382 143	297 222	201 687	180 456	131 109	252 133
10	3 245 892	2 386 053	842 625	655 375	444 719	397 906	279 448	537 399
15	5 195 315	3 819 072	1 397 506	1 086 949	737 573	659 933	447 279	860 151
20	7400 908	5 440 402	2 066 137	1 606 995	1 090 461	975 676	637 164	1 225 316

**CARGAS DE EJE (LBS)**

Eje 1	2 000	3 000	10 370	10 370	10 370	10 370	3 000	10370
Eje 2	2 000	3 000	22 700	34 550	34 550	34 550	3 000	14 000
Eje 3					34 550	46 000		

**FACTORES EQUIVALENCIA PARA  $P_t = 2,0$**

Eje 1	0,0002	0,0030	0,0970	0,2030	0,2030	0,2030	0,0030	0,0970
Eje 2	0,0002	0,0030	3,1600	2,2900	2,2900	1,8200	0,0030	0,3760
Eje 3					2,2900	1,9700		
TOTAL	0,0004	0,0060	3,2579	2,4930	4,7830	3,9930	0,0060	0,4730

**PRODUCTOS PARCIALES**

PERIODO DISEÑO	AUTO	PU	C2	C3	T3S2	T2S3	MB	BUS	TOTAL PARCIAL
5	609	6 717	1 244 640	740 976	964 667	720 563	787	119 259	3 798 217
10	1 298	14 316	2 744 431	1 633 850	2 127 091	1 588 840	1 677	254 190	8 365 693
15	2 078	22 914	4 551 677	2 709 764	3 527 810	2 635 114	2 684	406 852	13 858 893
20	2 960	32 642	6 729 407	4 006 239	5 215 675	3 895 873	3 823	579 574	20 466 195

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Cálculo de ejes equivalentes total**

<b>1 CARRIL EN C/SENTIDO</b>	
FACTOR DE CARGA	1,00
FACTOR PISTA	0,50

TIEMPO	ESAL
5 AÑOS	1 899,109
10 AÑOS	4 182,847
15 AÑOS	6 929,446
20 AÑOS	10 233,098

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.12. Diseño de la mezcla del concreto**

Para el diseño de la mezcla del pavimento fue utilizado el método del ACI (American Concrete Institute). La teoría de la relación agua-cemento establece que para una combinación dada de materiales (y mientras se obtenga una consistencia de trabajabilidad), la resistencia del concreto a cierta edad depende de la relación del peso del agua de la mezcla al peso del cemento. En otras palabras, si la relación de agua-cemento es fija, la resistencia del concreto a una determinada edad también es esencialmente fija, mientras la mezcla sea plástica y manejable y el agregado sólido, durable y libre de materiales dañinos.

Una vez que se ha establecido la relación agua-cemento y seleccionado la manejabilidad y consistencia que se necesite para el diseño específico, el resto será simple manejo de tablas basadas en resultados de numerosos ensayos de laboratorio y que ayudan a obtener mezclas con las características deseadas. Para el proyecto se requiere un concreto con una resistencia a la compresión de  $f'c$  de 350 kilogramos sobre centímetro cuadrado (5000 psi) a los 28 días de curado, dicho concreto no incluirá aire en la mezcla.

El revenimiento para pavimentos es de 7,5 cm como máximo. El tamaño máximo del agregado puede estimarse en 6 cm pero se usará un agregado grueso más pequeño, con un tamaño nominal de 2,54 cm. Para un revenimiento de 7,5 cm y tamaño máximo de agregado de 1 pulgada.

La cantidad de agua por volumen de concreto es 195 l/m<sup>3</sup> según la tabla XXXV, y se toma un 42 % de arena sobre agregado total según tabla XXXVII.

Tabla XXXIV. **Tipo de asentamiento para diferentes estructuras**

<b>Tipos de estructura</b>	<b>Asentamiento</b>
Para cimientos, muros reforzados, vigas paredes reforzadas y columnas	10
Para pavimentos y losas	8
Concreto masivo	5

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 165.

Tabla XXXV. **Requisitos aproximados de agua para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de los agregados (a)**

<b>Asentamientos</b>	<b>Cantidad de agua litros / metro cubico</b>				
	<b>3/8pulgadas</b>	<b>1/2pulgadas</b>	<b>3/4pulgadas</b>	<b>1pulgadas</b>	<b>1 1/2pulgadas</b>
3 a 5	205	200	185	180	175
8 a 10	225	215	200	195	180
15 a 18	240	230	210	205	200

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 15.

Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que contienen porcentajes de aire menores que las mostradas en la tabla de contenido de agua y aire, según el revenimiento y tamaño de agregado. Para una relación constante de agua-cemento, la resistencia del concreto se reduce conforme se aumenta el contenido de aire.

Tabla XXXVI. **Requisitos aproximados de agua para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de los agregados (b)**

<b>Resistencia a la compresión a los 28 días (psi)</b>	<b>Relación agua-cemento</b>	
	<b>Concreto sin aire incluido</b>	<b>Concreto con aire incluido</b>
6 000 psi (420 kg/cm <sup>2</sup> )	0,41	
5 000 psi (350 kg/cm <sup>2</sup> )	0,48	0,40
4 000 psi (281 kg/cm <sup>2</sup> )	0,57	0,48
3 000 psi (210 kg/cm <sup>2</sup> )	0,68	0,59
2 000 psi (140 kg/cm <sup>2</sup> )	0,82	0,74

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 16.

### **2.2.12.1. Pasos para el diseño de la mezcla**

Calcular la cantidad de cemento, dividiendo la cantidad de agua por metro cúbico por la relación agua-cemento; considerando que un litro de agua pesa un kilogramo. El cemento se divide por 0,48 para concretos sin aire incluido con una resistencia de 5 000 libras fuerza por pulgada cuadrada según tabla XXVIII.

$$\text{Cemento} = 195/0,48 = 406,25 \text{ kg}$$

Luego se calcula la cantidad de agregado, restando el peso del agua y cemento del peso total de un metro cúbico de concreto:

$$\text{Peso de agregados} = \text{peso total} - \text{peso (agua + cemento)}$$

$$\text{Peso de agregados} = 2\,400 - (195 + 406,25) = 1\,798,75 \text{ kg}$$

La cantidad de arena, se obtiene multiplicando el peso total de agregado por el porcentaje de arena correspondiente.

$$\text{Contenido de arena} = 42 \% * 1\,798,75 \text{ kg} = 755,48 \text{ kg}$$

Tabla XXXVII. **Porcentaje de arena sobre agregado grueso**

<b>TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO GRUESO</b>	<b>% DE ARENA SOBRE AGREGADO TOTAL</b>
3/8 pulgadas	48
1/2 pulgadas	46
3/4 pulgadas	44
1 pulgadas	42
1 1/2 pulgadas	40

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 183.

La cantidad de pedrín será, el agregado total menos la cantidad de arena.

$$\text{Contenido de pedrín} = 1\,798,75 - 755,48 = 1\,043,27 \text{ kg}$$

Se concluye que la proporción final será de:

Tabla XXXVIII. **Relación de mezcla**

Relación mezcla			
Cemento	Arena	Piedrín	Agua
1	1,86	2,57	0,47

Fuente: elaboración propia.

Para obtener la relación en volumen para 1 metro cúbico, primero se debe multiplicar por ese valor y dividir después los valores dentro del peso específico de cada material.

$$\text{Cemento} = 406,25 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ m}^3 = 406,25 \text{ kg} / 42,5 \text{ kg/saco} = 10 \text{ sacos}$$

$$\text{Arena} = 755,48 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ m}^3 = 755,48 \text{ kg} / 1400 \text{ kg/m}^3 = 0,54 \text{ m}^3$$

$$\text{Piedrín: } 1043,27 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ m}^3 = 1043,27 \text{ kg} / 1600 \text{ kg/m}^3 = 0,65 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 195 \text{ l/m}^3 * 1 \text{ m}^3 = 195 \text{ l/gal} = 52 \text{ gal}$$

Para lograr la conversión de la relación de peso a relación en volumen, se debe tomar en cuenta que un saco de cemento tiene un volumen de un pie cúbico.

$$1 \text{ pie}^3 * \left(1 \text{ m} / 3,28 \text{ pie}\right)^3 = 0,028 \text{ m}^3 * 10 = 0,27 \text{ m}^3$$

$$\frac{0,27}{0,27} : \frac{0,54}{0,27} : \frac{0,65}{0,27}$$

Tabla XXXIX. **Proporción volumen**

<b>Proporción volumen / m<sup>3</sup></b>			
<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedrín</b>	<b>Agua</b>
1	2	2,4	52 gal

Fuente: elaboración propia.

Conservando la proporción del diseño en volumen, por cada bolsa de cemento deberán aplicar la correspondiente proporción de arena y piedrín que indica la tabla XXXVI, para esto los constructores deberán realizar cajones de madera para medir los agregados, para la arena se utilizará un cajón de 1,25 x 1,25 x 1,28 m y para el piedrín 1,25 x 1,25 x 1,54 m. Se debe tener una estricta supervisión por una persona profesional, para asegurar la calidad de la mezcla y la resistencia.

### **2.2.13. Pendiente transversal**

Es la pendiente que se le da a la corona en el eje perpendicular al de la carretera. Según su relación con los hombros y el alineamiento horizontal se consideran tres tipos: por bombeo, por transición y por peralte. La pendiente por bombeo es la pendiente transversal que se da a la corona, en las tangentes del alineamiento horizontal, con el objetivo de facilitar el escurrimiento superficial del agua.

Tabla XL. **Pendiente transversal recomendada según el tipo de superficie**

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Material</b>	<b>Bombeo</b>
Muy buena	Concreto	1 – 2 %
Buena	Mezcla asfáltica	1,5 – 3 %
Regular	Adoquín	2 – 2,5 %
Mala	Tierra o grava	2,5 – 3 %

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 184. .

#### **2.2.14. Maquinaria utilizada en el movimiento de tierras**

La maquinaria para el movimiento de tierras es un equipo que se emplea en la construcción de caminos (carreteras o rurales) y casi todo tipo de obras. Está diseñada para llevar a cabo varias funciones, entre ellas: soltar, remover, elevar y cargar la tierra en vehículos que han de transportarla y distribuirla en tongadas de espesor controlado, así como compactarla.

##### **2.2.14.1. Maquinaria utilizada en el movimiento de tierras y compactación de suelos**

- Maquinaria para movimiento de tierras
  - Motoniveladora

Como su nombre lo indica se utiliza para la nivelación del terreno antes de la compactación del suelo.

La motoniveladora ofrece tres configuraciones básicas. Dependiendo el tipo de trabajo que realice, se puede escoger entre caballaje fijo, caballaje variable o con su tracción frontal. Con la articulación, radio de giro y eficiencia de combustible se cumple el objetivo de hacer un movimiento de tierras más eficiente.

- *Dumpers*

Los *dumpers* permiten una forma eficiente y económica de mover material dentro de la zona de trabajo. Su radio de giro cerrado permite que estas máquinas trabajen en lugares confinados con perfecta confianza.

- Maquinaria para compactación de suelos

- Suelos no cohesivos

Los suelos no cohesivos (granulares) tiene propiedades más adecuadas para la compactación, la forma más económica de compactar los suelos cohesivos es por medio de la vibración. La vibración (compactación dinámica) reduce la fricción entre las partículas del suelo, permitiendo simultáneamente una redistribución de las mismas. Gracias a la vibración se logran reducir los volúmenes de poros (espacios vacíos) y las inclusiones de agua y aire son desplazadas hacia la superficie, obteniéndose paralelamente una mayor densidad seca del material de suelo.

En general y gracias a su intensivo efecto de compactación, se utilizan planchas vibratoras para obtener óptimos resultados en la compactación de suelos no cohesivos.

Adicionalmente se deberán considerar los excelentes resultados en la compactación, la alta producción, el alto grado de confiabilidad y los costos resultantes relativamente bajos, de esta clase de equipos. Para la compactación de grandes superficies con suelos granulares (no cohesivos) se utilizan en general rodillos rotativos.

- Suelos cohesivos

Para llevar a cabo en forma correcta y efectiva la compactación de un suelo cohesivo es necesario que el material sea amasado y a la par, presionado o golpeado en forma vigorosa.

En suelos cohesivos la acción de la fuerza de impacto de un vibroapisonador reduce a un mínimo la adhesión (cementación) entre las partículas individuales (cohesión real). Adicionalmente es reducida la fricción entre partículas. Las inclusiones de aire y/o agua son desplazadas en dirección de la superficie. De esta manera se obtiene una compacidad mayor.

Una elevada altura de salto del pisón de un vibroapisonador es deseable, ya que de esta forma es posible obtener un alto trabajo de impacto por golpe como también como para garantizar un mejor avance del equipo.

La alta secuencia de golpes dentro del orden de 500 a 800 golpes por minuto hace que las partículas giren, oscilen, vibren y se mantengan en constante movimiento, lo que es una gran ventaja durante la compactación de los suelos tanto cohesivos como también no cohesivos (granulares).

- Compactadora

Los rodos representan una economía y eficiente solución para los trabajos de compactación. Los rodos están diseñados para dar superior tracción en los momentos más difíciles. Referente a aspectos mecánicos de la máquina, presenta acceso libre y fácil al motor, al radiador, a la batería, a los filtros y a puntos de chequeo diarios, que hacen de los rodos unas máquinas fáciles de operar y mantener. La comodidad y facilidad de operación hacen que los operadores rindan más y se realice un trabajo más eficiente.

#### **2.2.14.2. Maquinaria utilizada en pavimentación**

- Concreteiras

En la actualidad se han inventado y desarrollado las concreteiras autocargables. Se han desarrollado con el fin de producir concreto de alta calidad a bajo costo, ya que con el transporte inmediato en la obra se evitará que las propiedades ideales del concreto a la hora de la fundición no se pierdan.

También se cuenta con concreteiras de trabajo liviano, con capacidad de 1 a 1,5 sacos. Estas concreteiras son ideales para la obra pequeña. Sus

cualidades les permiten ser jaladas por carro sin dañar sus llantas y su chasis.

- **Pavimentadoras**

Existe una amplia gama de pavimentadoras sobre ruedas y sobre orugas. Cual sea su trabajo, desde un lote pequeño hasta una carretera de muchos kilómetros se encontrará la máquina que mejor se adapte a las necesidades que la obra requiera, las pavimentadoras las hay en varios tamaños y es importante tomarla en cuenta en obras de infraestructura vial, pues lo que se pretende es tener la mejor calidad que permita hacer un trabajo superior a un costo menor.

- **Cortadora de concreto**

La cortadora de concreto es utilizada después de la fundición del pavimento, donde el objetivo es hacer las juntas de dilatación transversal y longitudinal y evitar que el concreto se agriete antes de los 28 días que es donde alcanza su resistencia óptima.

### **2.2.15. Juntas**

El diseño de juntas en los pavimentos de concreto es vital para el control del agrietamiento, así como de mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio en los más altos niveles al menor costo anual.

### **2.2.15.1. Juntas en el pavimento de concreto**

Se forman las juntas en el pavimento de concreto para reducir los efectos de la expansión y la contracción, para facilitar el colado del concreto y para dejar espacio para la liga de las losas colindantes. Las juntas pueden ser perpendiculares a la línea central del pavimento (transversales) y dependiendo a la función que se les destine, longitudinales.

### **2.2.15.2. Juntas transversales de expansión**

La función principal de una junta de expansión en un pavimento de concreto es permitir el movimiento de la losa debido a cambios en la temperatura. Por ejemplo, cuando se eleva la temperatura, aumenta la longitud de la losa, creando en consecuencia esfuerzos de compresión en el concreto. Si no se colocaran juntas de expansión, la losa, dependiendo de su longitud, podría abombarse o reventarse.

En el pavimento de concreto, en general se colocan juntas de expansión cada 40 a 60 pies, a lo largo de la longitud del pavimento. Las juntas, que pueden variar en espesor de  $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada, deben incorporar dispositivos apropiados de transferencia de carga. En las juntas, se debe colocar relleno, como caucho, betumen o corcho que permita la expansión de la losa y excluya la suciedad.

### **2.2.15.3. Juntas transversales de contracción**

Se ponen juntas de contracción para limitar los efectos de las fuerzas de tensión en una losa de concreto, causados por una caída en la temperatura. El objetivo es debilitar la losa, de modo que si las fuerzas de tensión son

suficientemente grandes como para agrietarla, las grietas se formarán en las juntas. En general, la profundidad de las juntas de contracción solo es un cuarto del espesor de la losa. No obstante, cuando se diseñan y espacian apropiadamente, también pueden minimizar el agrietamiento de la losa fuera de las juntas.

Las juntas de contracción se pueden formar al aserrar en el concreto endurecido, colocando insertos de plástico en los lugares de las juntas antes de colocar el concreto, o bien, trabajando el concreto después de haber sido colado pero antes de que este haya endurecido por completo.

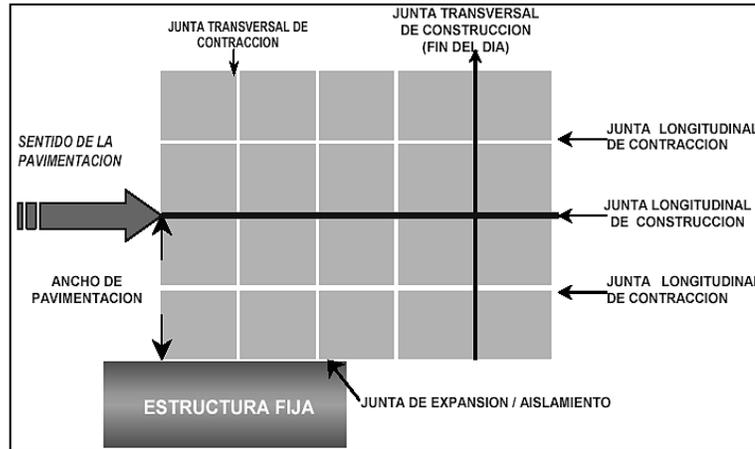
#### **2.2.15.4. Juntas longitudinales**

Estas se forman paralelas a la línea central de la carretera para facilitar la construcción de los carriles y prevenir la propagación de grietas longitudinales irregulares. Las juntas se pueden acuñar, juntar a tope, formar mecánicamente o ranurar con sierra.

#### **2.2.15.5. Juntas de construcción**

Cuando se interrumpe el colado del concreto para una losa, resulta conveniente una junta de construcción en la junta fría entre las dos secciones de esa losa. Como preparación para la interrupción, se forma una cara vertical con un travesaño de madera en el extremo de la losa que se está colando.

Figura 20. Esquema de juntas en un pavimento



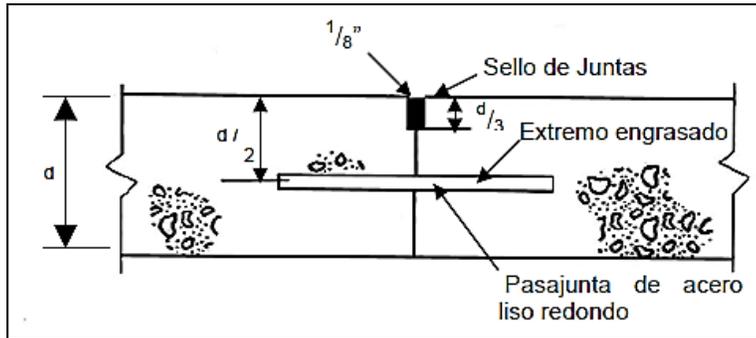
Fuente: <http://www.cemexmexico.com/co/pdf/41Juntas.pdf>. Consulta: 20 de septiembre de 2014.

Tabla XLI. Modulación de juntas

MODULACIÓN DE JUNTAS	
Juntas transversales de contracción	Corte a D/3 (8,8 cm) con disco de diamante con un espaciamento entre juntas de 5,5 metros (ver figura 21).
Junta longitudinal de contracción	Endietamiento trapezoidal a todo lo largo de ambos carriles de la pavimentación (ver figura 22).
Juntas de construcción	Junta en último corte del día, realizar de forma idéntica a una junta de contracción.

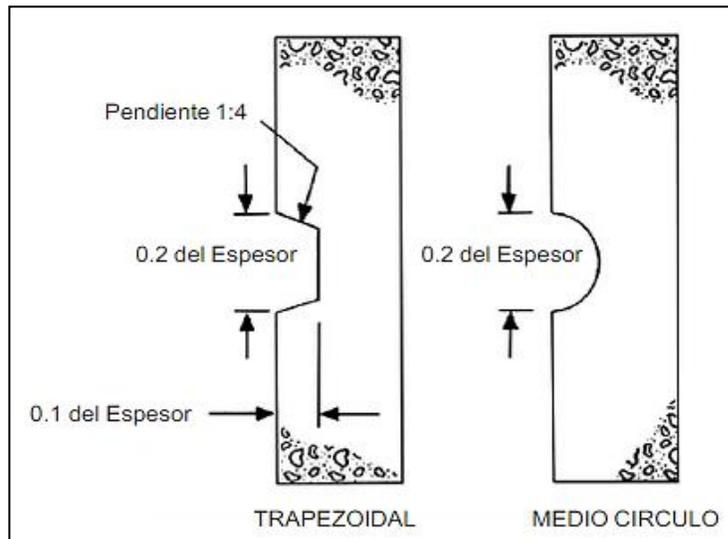
Fuente: Instituto Boliviano del cemento y el hormigón. *Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas*. p. 96.

Figura 21. **Endietamiento de la junta longitudinal de contracción con pasajuntas**



Fuente: Instituto Boliviano del cemento y el hormigón. *Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas*. p. 98.

Figura 22. **Endietamiento de la junta longitudinal de contracción**



Fuente: Instituto Boliviano del cemento y el hormigón. *Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas*. p. 101.

## 2.2.16. Elaboración de presupuesto

A continuación se presenta el resumen del presupuesto estimado incluyendo costo directo e indirecto, del proyecto de pavimento rígido. Los precios de los materiales y mano de obra están referidos a la cabecera departamental.

Los costos unitarios se integraron de idéntica forma como en el proyecto de abastecimiento de agua potable en la aldea Cuchilla del Carmen. El presupuesto de la carretera se encuentra en los anexos.

Tabla XLII. Resumen de presupuesto

Renglón	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Q)	Total (Q)
1	Replanteo topográfico	km	4,02	2 350,00	9 447,00
2	Excavación no clasificada	m <sup>3</sup>	6 325,00	41,35	261 538,75
3	Excavación no clasificada de desperdicio	m <sup>3</sup>	9 750,00	40,25	392 437,50
4	Conformación de la subrasante	m <sup>2</sup>	1 200,00	85,00	102 000,00
5	Base granular	m <sup>3</sup>	2 890,00	163,50	472 515,00
6	Pavimento rígido	m <sup>3</sup>	5 776,00	2 035,50	11 757 048,00
7	Excavación para alcantarillas	m <sup>3</sup>	1 908,00	171,52	327 260,16
8	Tubería de concreto de 30"	ml	106,00	1 650,00	174 900,00
9	Cajas y cabezales de drenaje, de concreto ciclópeo	m <sup>3</sup>	36,00	2 155,84	77 610,24
10	Cunetas revestidas	m <sup>2</sup>	560,00	194,70	109 032,00
11	Bordillo	ml	1 750,00	143,04	250 320,00
TOTAL					13 934 108,65

Fuente: elaboración propia.

## 2.2.17. Cronograma de la ejecución física-financiera

Toda obra como cualquier proyecto es un documento que contiene el proceso de resolución técnica de un problema, con lo cual es adecuado estructurar un cronograma de cómo se ejecutará la obra conforme el tiempo.

Tabla XLIII. Cronograma de la ejecución física-financiera

Renglón	Descripción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	TOTAL
1	Replanteo topográfico	0,15					Q 9447,00
2	Excavación no clasificada	0,08					Q 261.538,75
3	Excavación no clasificada de desperdicio	0,12					Q 392.437,50
4	Conformación de la subrasante	0,15	0,12				Q 102.000,00
5	Base granular			0,1	0,08		Q 472.515,00
6	Pavimento rígido						Q 11.757.048,00
7	Excavación para alcantarillas						Q 327.260,16
8	Tubería de concreto de 30"						Q 174.900,00
9	Cajas y cabezales de drenaje de concreto ciclópeo					0,07	Q 77.610,24
10	Cunetas revestidas					0,03	Q 109.032,00
11	Bordillo					0,10	Q 250.320,00
	Avance físico	0,15	0,35	0,55	0,75	1,00	
	Avance financiero (Q)	2.090.116,30	4.876.938,03	7.663.759,76	10.450.581,49	13.934.108,65	13.934.108,65

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.18. Evaluación de impacto ambiental (EIA)**

Para este método la asignación de valores es subjetiva y no existe una fórmula o método que indique los valores a asignarse. La siguiente tabla XXXI muestra la evaluación de impacto ambiental para el proyecto de pavimentación de la calle principal de la aldea El Carmen.

Como puede observarse en la tabla XXXVI, el impacto ambiental será positivo para la población de la aldea El Carmen, salvo en el factor de flora y fauna los cuales presentan valores negativos por las acciones de ruido y vibraciones, causados por los trabajos de construcción y tránsito vehicular y contaminación de humo causados por los vehículos que lleguen a transitar por la carretera, siendo estos problemas mínimos comparados con los beneficios debido a que las acciones muestran un impacto positivo y de gran importancia, beneficiando a los pobladores en los aspectos de mayor comodidad de transporte, mejor salud por la eliminación de polvo y aumento de las actividades económicas y agrícolas.

Tabla XLIV. Estudio de impacto ambiental

				ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS										
				Modificación del régimen			Transformación del territorio			Operación y mantenimiento				
				Alteración cubierta y terrestre	Ruido y vibraciones	Excavación de zanjas	Drenaje pluvial	Tratamiento de aguas negras	Operación de conducción en tuberías	Eliminación de aguas residuales	Impacto en ambiente	Importancia de impacto		
FACTORES AMBIENTALES	Físicoquímico	Tierra	Suelos	-1	-3	0	5	3	1	1	6			
				5	3	3	5	1	5	5		27		
		Agua	Calidad	0	0	0	0	3	0	0				
				5	0	5	0	5	0	0				
			Temperatura	0	0	0	0	0	0	0	3			
						5	0	5	3	3	5	5		41
		Atmósfera	Calidad	-3	-2	0	5	4	-1	-1				
				5	5	5	1	3	2	3				
			Inundaciones	0	0	0	4	5	0	0	11			
					0	0	0	1	3	2	2		32	
	Condiciones biológicas	Procesos	Compactación	5	0	0	5	3	1	0	9			
				5	2	0	5	3	3	2		20		
		Flora	Árboles	-2	0	-2	0	2	0	-2				
				5	2	3	1	0	2	5				
			Cosecha	-3	0	0	5	4	0	-2	13			
						5	0	3	2	0	2	2		47
		Fauna	Macrofauna	0	-4	-2	0	0	0	-3	7			
				5	3	3	3	1	3	5		23		
		Factores culturales	Uso del territorio	Agrícola	-1	0	-1	4	4	0	-1			
	5				3	5	2	3	3	5				
	Zona residencial			3	3	-1	5	5	3	5	40			
						4	4	4	5	5	3	5		57
	Nivel cultural		Cultura o formas de vida	-3	-3	-1	5	5	3	5				
				5	5	5	5	4	2	3				
			Salud y seguridad	-1	-1	-1	3	3	0	0				
				4	4	4	4	5	2	3				
	Empleo		3	-1	0	5	3	0	0	27				
3			3	3	3	3	3	3		84				
Servicio e infraestructura	Red de transporte	0	0	0	5	3	0	0						
		5	3	3	5	5	3	3						
	Servicios	2	1	0	5	5	0	0	8					
		3	3	4	4	4	2	3		51				

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. En el diseño de la pavimentación de la calle principal de la aldea El Carmen se consideraron los siguientes aspectos:
  - Topografía: región ondulada – montañosa
  - Tránsito: 1 000 a 2 000 vehículos al día
  - Velocidad de diseño: 20 a 40 km/hElementos que influyeron grandemente, para definir el tipo de carretera que se necesita en la región y a la vez llevar a cabo un buen diseño, razón por la cual se estableció una carretera tipo B, la cual beneficiará a la población de Santa Catarina Pinula a expandir sus fronteras comerciales.
2. En la aldea Cuchilla del Carmen es urgente la construcción del abastecimiento de agua potable, el acceso al servicio básico de agua potable de calidad es uno de los compromisos del país con la comunidad internacional para la reducción de la desigualdad en el siglo XXI, reducirá las tasas de morbilidad y mortalidad y traerá una mejor calidad de vida a la comunidad.
3. La realización del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), además de brindar servicio técnico profesional, como proyección de la Universidad, da la oportunidad al estudiante de complementar su formación académica, le permite adquirir experiencia y madurez para iniciar el desempeño de su profesión, ya que lo vivido en el EPS le provee del conocimiento no adquirido en la Universidad.



## RECOMENDACIONES

A la Municipalidad de Santa Catarina Pinula:

1. Realizar la construcción del sistema de abastecimiento de agua potable en el menor tiempo posible, con lo cual se evitará el incremento de enfermedades y llevará desarrollo a la comunidad.
2. Concientizar a los beneficiarios del proyecto de abastecimiento de agua potable para que estén conscientes en que el agua es un recurso finito y vulnerable.
3. Proveer el mantenimiento rutinario y periódico a la superficie de rodadura de la carretera, antes y después del invierno, de esa forma se logrará alcanzar la vida útil del proyecto.
4. Dentro del programa de mantenimiento de la carretera de la aldea El Carmen, realizar la limpieza de los drenajes al inicio y al final del invierno.
5. En el tiempo en que se realizará la ejecución de ambos proyectos, es necesario que las personas encargadas actualicen los precios de los materiales.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR FUENTES, Byron de Jesús. *Planificación y diseño de un tramo carretero comunidad El Carmen*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2001. 164 p.
2. CABRERA RODAS ALDANA, Walter Estuardo. *Estudio y diseño de la red de recolección de aguas residuales, de la aldea La Guitarra, del departamento de Retalhuleu*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 82 p.
3. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: DGC MCIV 2000. 361 p.
4. GALICIA ORDOÑEZ, Caris Gabriela. *Diseño de ampliación de 1,45 km. de pavimento rígido en el sector 2 de la aldea Fray Bartolomé de las Casas (El Cerinal) y escuela de párvulos de dos niveles del cantón Utzumazate del municipio de Barberena, Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 181 p.

5. JUÁREZ IZEM, Henry Otoniel. *Diseño de carretera comunidad San Sebastián El Refugio, municipio de San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 175 p.
  
6. QUIJADA SAGASTUME, José Gilberto. *Diseño de la red de alcantarillado sanitario de las aldeas El Ingeniero y Petapilla del municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 151 p.
  
7. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. *Manual Centroamericano de Construcción de Carreteras*. Guatemala. SIECA, 2011. 426 p.

## APÉNDICES

### Apéndice A. Integración de costos unitarios

1. TRABAJOS PRELIMINARES					
Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	
<b>1.01</b>	<b>Trazo y nivelación</b>	<b>m</b>	<b>5 537,12</b>	<b>Q</b>	<b>4,83</b>
Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Trazo y replanteo (equipo de topografía)	Día	7,5000	Q 2 000,00	Q 15 000,00
2	Supervisión	Global	1,00	Q 2 056,31	Q 2 056,31
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 17 056,31</b>
Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q -</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q 17 056,31</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>					<b>Q 3 411,26</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>					<b>Q 3 411,26</b>
<b>IVA (12 %)</b>					<b>Q 2 865,46</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>Q 26 744,29</b>

Continuación del apéndice A.

2. LÍNEA DE CONDUCCIÓN					
Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	
2.01	Demolición y extracción de carpeta de rodadura (asfalto)	m <sup>2</sup>	83,60	Q	91,64
Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Cortadora de concreto (con combustible y disco)	Semana	0,40	Q 750,00	Q 300,00
2	Rotomartillo	Semana	0,20	Q 750,00	Q 150,00
3	Retroexcavadora (con combustible y operador)	Hr	2,00	Q 300,00	Q 600,00
4	Palas redondas con cabo	Unidad	1,00	Q 60,00	Q 60,00
5	Piochas con cabo	Unidad	2,00	Q 62,00	Q 124,00
6	Carretillas de mano	Unidad	2,00	Q 350,00	Q 700,00
7	Camión de volteo	Flete	1,00	Q 640,00	Q 640,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 2 574,00</b>
Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Corte de asfalto	m	278,68	Q 1,00	Q 278,68
2	Demolición de asfalto hasta 15 cm (incluye marcaje y limpieza)	m <sup>2</sup>	83,60	Q 9,00	Q 752,40
3	Mano de obra indirecta (45 % MOD)	Global	1,00	Q 463,99	Q 463,99
4	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 667,00	Q 667,00
5	Supervisión	Global	1,00	Q 149,84	Q 149,84
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 2 311,91</b>
<b>COSTO TOTAL</b>				Q	<b>4 885,91</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>				Q	<b>977,18</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>				Q	<b>977,18</b>
<b>IVA (12 %)</b>				Q	<b>820,83</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>				Q	<b>7 661,10</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.02	Demolición y extracción de carpeta de rodadura (concreto hidráulico)	m <sup>2</sup>	30,68	Q 98,90

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Cortadora de concreto (con combustible y disco)	Semana	0,15	Q 750,00	Q 112,50
2	Retroexcavadora (con combustible y operador)	Hr	0,75	Q 300,00	Q 225,00
3	Palas redondas con cabo	Unidad	1,00	Q 60,00	Q 60,00
4	Piochas con cabo	Unidad	2,00	Q 62,00	Q 124,00
5	Camión de volteo	Flete	0,40	Q 640,00	Q 256,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 77,50</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Corte de concreto	m	102,05	Q 1,00	Q 102,05
2	Demolición de concreto hasta 12 cm (incluye marcaje y limpieza)	m <sup>2</sup>	30,68	Q 13,50	Q 414,18
3	Mano de obra indirecta (45 % MOD)	Global	1,00	Q 232,30	Q 232,30
4	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 333,95	Q 333,95
5	Supervisión	Global	1,00	Q 75,13	Q 75,13
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 1157,61</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 1935,11</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 387,02</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 387,02</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 325,10</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 3 034,25</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.03	Demolición y extracción de banqueteta	m <sup>2</sup>	1 441,92	Q 91,49

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Cortadora de concreto(con combustible y disco)	Semana	9,00	Q 750,00	Q 6 750,00
2	Retroexcavadora(con combustible y operador)	Hr	36,00	Q 300,00	Q 10 800,00
3	Palas redondas con cabo	Unidad	10,00	Q 60,00	Q 600,00
4	Piochas con cabo	Unidad	13,00	Q 62,00	Q 806,00
5	Carretillas de mano	Unidad	12,00	Q 350,00	Q 4 200,00
6	Camión de volteo	Flete	17,00	Q 640,00	Q 10 880,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 34 036,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Corte de concreto	m	3 184,30	Q 1,00	Q 3 184,30
2	Demolición de concreto hasta 12 cm (incluye marcaje y limpieza)	m <sup>2</sup>	1 441,92	Q 13,50	Q 9 465,92
3	Mano de obra indirecta (45 % MOD)	Global	1,00	Q 10 192,60	Q 92,60
4	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 14 652,28	Q 14 652,28
5	Supervisión	Global	1,00	Q 2 602,36	Q 2 602,36
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 50 097,46</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 84 133,46</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 16 826,69</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 16 826,69</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 14 134,42</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 131 921,26</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.04	Demolición y extracción de cuneta	m	1 981,12	Q 75,88

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Retroexcavadora (con combustible y operador)	Hr	29,00	Q 300,00	Q 8 700,00
2	Palas redondas con cabo	Unidad	13,00	Q 60,00	Q 780,00
3	Piochas con cabo	Unidad	16,00	Q 62,00	Q 992,00
4	Carretillas de mano	Unidad	16,00	Q 350,00	Q 5 600,00
5	Camión de volteo	Flete	23,00	Q 691,00	Q 15 893,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 31 965,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Demolición de cuneta (incluye marcaje y limpieza)	m	1 981,12	Q 15,00	Q 29 716,80
2	Mano de obra indirecta (45 % MOD)	Global	1,00	Q 13 372,56	Q 13 372,56
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 19 223,60	Q 19 223,60
4	Supervisión	Global	1,00	Q 1 594,10	Q 1 594,10
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 63 907,06</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 95 872,06</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 19 174,41</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 19 174,41</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 16 106,51</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 150 327,39</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	
2.05	Tanque de succión de 75 m <sup>3</sup>	u	1	Q	220 804,64

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Alambre de amarre	Libras	446	Q 7,00	Q 3 122,00
2	Cemento	Sacos	438	Q 72,00	Q 31 536,00
3	Hierro núm. 2	varilla	18	Q 28,00	Q 504,00
4	Hierro núm. 3	varilla	784	Q 35,00	Q 27 440,00
5	Hierro núm. 4	varilla	19	Q 45,00	Q 855,00
6	Hierro núm. 5	varilla	10	Q 100,00	Q 1 000,00
7	Arena de río	m <sup>3</sup>	22	Q 100,00	Q 2 200,00
8	Piedrín triturado	m <sup>3</sup>	23	Q 200,00	Q 4 600,00
9	Madera	pt.	1 828	Q 5,00	Q 9 140,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 80 397,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Armado de refuerzo para losas y muros del tanque	m <sup>2</sup>	266,51	Q 40,00	Q 10 660,40
2	Hacer y colocar concreto (fundición) de losas y muros del tanque de succión	m <sup>3</sup>	35,5	Q 275,00	Q 9 762,50
3	Colocar y retirar formaleta de muros y losa superior del tanque de distribución	m <sup>2</sup>	169,91	Q 25,00	Q 4 247,75
4	Repello + alisado interno	m <sup>2</sup>	154,71	Q 16,00	Q 2 475,36
5	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 12 215,70	Q 12 215,70
6	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 17 560,57	Q 17 560,57
7	Supervisión	Global	1,00	Q 3 500,00	Q 3 500,00
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 60 422,28</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 140 819,28</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20%)</b>	<b>Q 28 163,86</b>
<b>UTILIDAD (20%)</b>	<b>Q 28 163,86</b>
<b>IVA (12%)</b>	<b>Q 23 657,64</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 20 804,64</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.06	Caseta de bombeo	Unidad	1	Q 64 916,05

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Alambre de amarre	Libras	69,00	Q 7,00	Q 483,00
2	Cemento	Sacos	72,00	Q 72,00	Q 5 184,00
3	Hierro núm. 4 grado 40	varilla	11,00	Q 45,00	Q 495,00
4	Hierro núm. 3 grado 40	varilla	74,00	Q 35,00	Q 2 590,00
5	Hierro núm. 2 grado 40	varilla	15,00	Q 28,00	Q 420,00
6	Arena de río	m <sup>3</sup>	3,00	Q 100,00	Q 300,00
7	Piedrín triturado	m <sup>3</sup>	4,00	Q 200,00	Q 800,00
8	Cal hidratada	Sacos	6,00	Q 36,00	Q 216,00
9	Arena de amarilla	m <sup>3</sup>	2,00	Q 100,00	Q 200,00
10	Materiales losa prefabricada	m <sup>2</sup>	24,00	Q 165,00	Q 3 960,00
11	Pintura color blanco	galón	2,00	Q 125,00	Q 250,00
12	Brochas	unidad	1,00	Q 25,00	Q 25,00
13	Kit de rodillo con extensión	unidad	1,00	Q 20,00	Q 20,00
14	Block de 0,14 mx 0,19 mx 0,39 mx 35 kg	unidad	359,00	Q 3,50	Q 1 256,50
15	Tabla de 12" * 1" * 10'	unidad	2,00	Q 55,00	Q 110,00
16	Paral 4" x 3" x 10'	unidad	4,00	Q 55,00	Q 220,00
17	Clavos 3"	lb	15,00	Q 7,00	Q 105,00
18	Fachaleta doble de barro 6,5 x 5 x 23 cms (Cód. 34)	millar	0,85	Q 1 750,00	Q 1 487,50
19	Estuque color naranja /teja	Saco	1,00	Q 129,30	Q 129,30
20	Euroseal	galón	1,50	Q 84,92	Q 127,38
21	Teja tipo veneciana	m <sup>2</sup>	24,00	Q 57,89	Q 1 389,36
22	Capote para teja tipo veneciana	m	8,00	Q 36,80	Q 294,40
23	Capote unión 3 aguas	Unidad	2,00	Q 58,83	Q 117,66
24	Materiales para iluminación y fuerza 110volts + fuerza 220 volts: lámparas, interruptores y tomacorrientes	unidad	3,00	Q 250,00	Q 750,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 20 930,10</b>

Continuación del apéndice A.

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Armado de columna de 0,15 m x 0,15 m con 4 hierros núm. 3 más hecha de estribo de hierro núm. 2 a cada 0,15 m (incluye el centrado).	m	24,00	Q 8,50	Q 204,00
2	Armado de soleras y vigas sobre muro, de 0,15 m x 0,20 m hasta 4 hierros núm. 4 más hecha de estribo de hierro núm. 2 a cada 0,15 m, (incluye el centrado).	m	49,48	Q 12,00	Q 593,76
3	Colocación losa prefabricada (Incluye entarimado, paraleado, colocación de vigueta, colocación bovedia y colocación de faldones).	m <sup>2</sup>	24,00	Q 96,25	Q 2 310,00
4	Fundición de columnas libres con entranquillado de 0,15 m x 0,15 m (incluye formaleta).	m	15,60	Q 18,00	Q 280,80
5	Fundición de soleras y vigas sobre muro, de 0.15 m x 0.20 m (incluye formaleta).	m	24,00	Q 18,00	Q 432,00
6	Levantado de block rústico de 0,14 m x 0,19 m x 0,39 m, pineado @ 0,40 m, incluye fundición.	m <sup>2</sup>	25,62	Q 40,00	Q 1 024,80
7	Repello + alisado en cielo	m <sup>2</sup>	24,00	Q 16,00	Q 384,00
8	Aplicación de sabieta + cernido gris en paredes	m <sup>2</sup>	25,62	Q 8,00	Q 204,96
9	Fundición piso de concreto 0.20 m de espesor (terminada con cernido gris).	m <sup>2</sup>	9,00	Q 25,00	Q 225,00
10	Fundición de banqueta de 3,00 x 1,00 x 0,10 m terminada cernido gris.	m <sup>2</sup>	3,00	Q 20,00	Q 60,00
11	Blanqueado en cielo	m <sup>2</sup>	24,00	Q 10,00	Q 240,00
12	Pintura de hule en paredes (dos manos).	m <sup>2</sup>	25,62	Q 4,00	Q 102,48
13	Instalación de fachaleta sobre pared incluye el sisado y cortes.	m <sup>2</sup>	25,62	Q 52,50	Q 1 345,05
14	Colocación de teja	m <sup>2</sup>	24,00	Q 26,00	Q 624,00
15	Aplicación de impermeabilizante en tejas	m <sup>2</sup>	24,00	Q 2,00	Q 48,00
16	Elaboración de andamio para pared, de madera.	m	12,00	Q 8,00	Q 96,00
17	Desecha de andamio.	m	12,00	Q 4,00	Q 48,00
18	Mano de obra indirecta (45%)	Global	1,00	Q 3 700,28	Q 3 700,28
19	Prestaciones (44,6%)	Global	1,00	Q 5 319,31	Q 5 319,31
20	Supervisión	Global	1,00	Q 1 000,00	Q 1 000,00
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 8 242,44</b>

Continuación del apéndice A.

Núm.	SUBCONTRATO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Ventanería aluminio + vidrio color bronce de 5 mm	m <sup>2</sup>	1,2	Q 475,00	Q 570,00
2	Fabricación e instalaciones de balcones de hierro	Global	1	Q 600,00	Q 600,00
3	Puerta (0,90 m x 2,15 m) metal+anticorrosivo+pintura	Unidad	1	Q 858,00	Q 858,00
4	Entubado, cableado, emplacado, sanjeo y relleno para tubería PVC. Instalación eléctrica.	Global	1	Q 200,00	Q 200,00
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 2 228,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q 41 400,54</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>					<b>Q 8 280,11</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>					<b>Q 8 280,11</b>
<b>IVA (12 %)</b>					<b>Q 6 955,29</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>Q 4 916,05</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.07	Excavación para instalación de tubería y tanque de succión	m <sup>3</sup>	3 440,66	Q 88,11

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Retroexcavadora (con combustible y operador)	Hr	224,00	Q 275,00	Q 61 600,00
2	Palas redondas con cabo	Unidad	14,00	Q 60,00	Q 840,00
3	Piochas con cabo	Unidad	14,00	Q 62,00	Q 868,00
4	Carretillas de mano	Unidad	7,00	Q 350,00	Q 2 450,00
5	Camión de volteo	Flete	325,00	Q 315,00	Q 102 375,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 168 133,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Nivelación de zanja	m	5 527,12	Q 2,00	Q 11 054,24
2	Mano de obra indirecta (45 % MOD)	Global	1,00	Q 4 974,41	Q 4 974,41
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 7 150,91	Q 7 150,91
4	Supervisión	Global	1,00	Q 2 027,07	Q 2 027,07
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 25 206,63</b>

<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q 193 339,63</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>					<b>Q 38 667,93</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>					<b>Q 38 667,93</b>
<b>IVA (12 %)</b>					<b>Q 32 481,06</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>Q 303,156.55</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.08	Base de material selecto de 0,10 m de espesor para instalación de tubería y obras de arte	m <sup>3</sup>	346,00	Q 219,46

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Material selecto	m <sup>3</sup>	519,00	Q 60,00	Q 31 140,00
2	Vibro compactador manual	Semana	4,50	Q 750,00	Q 3 375,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 34 515,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Relleno y compactación de zanja	m <sup>3</sup>	346,00	Q 18,00	Q 6 228,00
2	Mano de obra indirecta (45 % MOD)	Global	1,00	Q 2 802,60	Q 2 802,60
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 4 028,85	Q 4 028,85
4	Supervisión	Global	1,00	Q 852,31	Q 852,31
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 13 911,76</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 48 426,76</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 9 685,35</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 9 685,35</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 8 135,70</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 75 933,16</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.09	Tubería PVC Ø 6" 160 psi	m	463,51	Q 333,96

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo PVC de 6" de diámetro, 160 psi, junta rápida Norma ASTM D2241	U	78	Q 1 193,00	Q 93 054,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 93 054,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	463,51	Q 5,00	Q 2 317,55
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 1 042,90	Q 1 042,90
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 1 499,21	Q 1 499,21
4	Supervisión	Global	1,00	Q 806,87	Q 806,87
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 5 666,53</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 98 720,53</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 19 744,11</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 19 744,11</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 16 585,05</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 154 793,80</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.10	Tubería PVC Ø 6" 250 psi	m	886,17	Q 517,33

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo PVC de 6" de diámetro, 250 psi, junta rápida Norma ASTM D2241	U	148	Q 1 784,00	Q 264 032,00
2	Codo a 90° PVC de 6" de diámetro	U	2	Q 367,40	Q 734,80
3	Codo a 45° PVC de 6" de diámetro	U	14	Q 464,10	Q 6 497,40
4	Codo a 22°30' PVC de 6" de diámetro	U	8	Q 420,00	Q 3 360,00
5	Codo a 11°15' PVC de 6" de diámetro	U	8	Q 420,00	Q 3 360,00
6	Adaptador hembra PVC Ø 6" de diámetro	U	2	Q 317,84	Q 635,68
7	Reducidor Bushing de 6" a 4"	U	3	Q 222,40	Q 667,20
8	Tee reductora PVC Ø 6" x 4"	U	2	Q 583,50	Q 1 167,00
9	Pegamento PVC	galón	2	Q 462,10	Q 924,20
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 281 378,28</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	886,17	Q 5,00	Q 4 430,85
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 1 993,88	Q 1 993,88
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 2 866,29	Q 2 866,29
4	Supervisión	Global	1,00	Q 1 704,63	Q 1 704,63
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 10 995,65</b>

<b>COSTO TOTAL</b>				<b>Q 292 373,93</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>				<b>Q 58 474,79</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>				<b>Q 58 474,79</b>
<b>IVA (12 %)</b>				<b>Q 49 118,82</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>				<b>Q 458 442,33</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.11	Tubería HG de Ø 6" tipo liviano	m	179,04	Q 915,73

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo HG TL de 6" de diámetro	U	30	Q 3 200,00	Q 96 000,00
2	Codo a 90° HG de 6" de diámetro	U	2	Q 617,00	Q 1 234,00
3	Codo a 45° HG de 6" de diámetro	U	9	Q 550,00	Q 4 950,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 102 184,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	179,04	Q 5,00	Q 895,20
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 402,84	Q 402,84
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 579,10	Q 579,10
4	Supervisión	Global	1,00	Q 500,28	Q 500,28
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 2 377,42</b>

<b>COSTO TOTAL</b>				<b>Q 104 561,42</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>				<b>Q 20 912,28</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>				<b>Q 20 912,28</b>
<b>IVA (12 %)</b>				<b>Q 17 566,32</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>				<b>Q 163 952,30</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.12	Tubería PVC Ø 4" 160 psi	m	2 068,94	Q 223,17

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo PVC de 4" de diámetro, 160psi, junta rápida Norma ASTM D2241	U	345	Q 550,00	Q 189 750,00
2	Codo a 90° PVC de 4" de diámetro	U	1	Q 72,50	Q 72,50
3	Codo a 45° PVC de 4" de diámetro	U	14	Q 92,90	Q 1 300,60
4	Codo a 22°30' PVC de 4" de diámetro	U	22	Q 112,00	Q 2 464,00
5	Codo a 11°15' PVC de 4" de diámetro	U	8	Q 112,00	Q 896 00
6	Reducidor Bushing de 4" a 3"	U	2	Q 65,20	Q 130 40
7	Reducidor Bushing de 4" a 2"	U	2	Q 65,20	Q 130 40
8	Tee reductora PVC Ø 4" x 2"	U	5	Q 139,70	Q 698 50
9	Válvula reguladora de presión Ø 4"	U	1	Q 22 000,00	Q 22 000 00
11	Válvula automática de flotador Flomatic Ø 4"	U	1	Q 51 900,00	Q 51 900,00
12	Pegamento PVC	galón	2	Q 462,10	Q 924 20
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 270 266,60</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	2 068,94	Q 5,00	Q 10 344,70
2	Mano de obra indirecta (45%)	Global	1	Q 4 655,12	Q 4 655,12
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 6 691,92	Q 6 691,92
4	Supervisión	Global	1,00	Q 2 509,35	Q 2 509,35
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 24 201,09</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 294 467,69</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 58 893,54</b>
<b>UTILIDAD (20%)</b>	<b>Q 58 893,54</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 49 470,57</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 461 725,34</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.13	Tubería PVC Ø 4" 250 psi	m	1 531,06	Q 323,62

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo PVC de 4" de diámetro, 250 psi, junta rápida Norma ASTM D2241	U	256	Q 824,00	Q 210 944,00
10	Válvula automática de control de flujo Flomatic Ø 4"	U	2	Q 44 000,00	Q 88 000,00
Subtotal materiales					Q 298 944,00

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	1 531,06	Q 5,00	Q 7 655,30
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 3 444,89	Q 3 444,89
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 4 952,16	Q 4 952,16
4	Supervisión	Global	1,00	Q 999,59	Q 999,59
Subtotal mano de obra					Q 17 051,94

COSTO TOTAL	Q 315 995,94
GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)	Q 63 199,19
UTILIDAD (20 %)	Q 63 199,19
IVA (12 %)	Q 53 087,32
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 495 481,64</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.14	Tubería PVC de Ø 3"	m	270,97	Q 117,09

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo PVC de 3" de diámetro, 160 psi, junta rápida Norma ASTM D2241	U	46	Q 334,00	Q 15 364,00
2	Codo a 90° PVC de 3" de diámetro	U	5	Q 61,70	Q 308,50
3	Codo a 22°30' PVC de 3" de diámetro	U	1	Q 67,20	Q 67,20
4	Adaptador hembra PVC Ø 1/2" de diámetro	U	2	Q 2,50	Q 5,00
5	Adaptador hembra PVC Ø 3/4" de diámetro	U	1	Q 3,40	Q 3,40
6	Adaptador hembra PVC Ø 3" de diámetro	U	1	Q 49,76	Q 49,76
7	Adaptador macho PVC Ø 2" de diámetro	U	6	Q 10,23	Q 61,38
8	Adaptador macho PVC Ø 3" de diámetro	U	2	Q 38,59	Q 77,18
9	Tee reductora PVC Ø 3" x 2"	U	1	Q 78,50	Q 78,50
10	Tee reductora PVC Ø 2" x 3/4"	U	1	Q 23,40	Q 23,40
11	Tee reductora PVC Ø 2" x 1/2"	U	2	Q 23,40	Q 46,80
12	Niple PVC Ø 2" x 2 m	U	4	Q 60,00	Q 240,00
13	Pegamento PVC	galón	1	Q 462,10	Q 462,10
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 16 787,22</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	270,97	Q 5,00	Q 1 354,85
2	Mano de obra indirecta (45%)	Global	1	Q 609,68	Q 609,68
3	Prestaciones (44,6%)	Global	1	Q 876,44	Q 876,44
4	Supervisión	Global	1,00	Q 606,43	Q 606,43
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 3 447,40</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 20 234,62</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20%)</b>	<b>Q 4 046,92</b>
<b>UTILIDAD (20%)</b>	<b>Q 4 046,92</b>
<b>IVA (12%)</b>	<b>Q 3 399,42</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 31 727,88</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.15	Tubería HG de Ø 3" tipo liviano	m	137,43	Q 999,29

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubo HG TL de 3" de diámetro	U	23	Q 1 500,00	Q 34 500,00
2	Válvula de compuerta Ø 1/2" Br.	U	2	Q 72,50	Q 145,00
3	Válvula de compuerta Ø 3/4" Br.	U	1	Q 99,70	Q 99,70
4	Válvula de compuerta Ø 2" Br.	U	3	Q 402,10	Q 1 206,30
5	Válvula de compuerta Ø 3" Br.	U	1	Q 1 011,20	Q 1 011,20
6	Válvula automática de aire Ø 1/2" Br.	U	2	Q 292,50	Q 585,00
7	Válvula automática de aire Ø 3/4" Br.	U	1	Q 325,00	Q 325,00
8	Válvula automática de flotador Flomatic Ø 3"	U	1	Q 47 900,00	Q 47 900,00
9	Niple HG Ø 1/2" x 0,15 m	U	4	Q 10,00	Q 40,00
10	Niple HG Ø 3/4" x 0,15 m	U	2	Q 15,00	Q 30,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 85 842,20</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Instalación de tubería	m	137,43	Q 5,00	Q 687,15
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 309,22	Q 309,22
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 444,51	Q 444,51
4	Supervisión	Global	1,00	Q 301,37	Q 301,37
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 1 742,25</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 87 584,45</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 17 516,89</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 17 516,89</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 14 714,19</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 137 332,42</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.16	Construcción de caja rompe-presión + válvula de flote	Unidad	1	Q 15 478,74

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Alambre de amarre	Libras	18	Q 7,00	Q 126,00
2	Cemento	Sacos	21	Q 72,00	Q 1 512,00
3	Hierro núm. 3	varilla	38	Q 35,00	Q 1 330,00
4	Arena de río	m <sup>2</sup>	1	Q 100,00	Q 100,00
5	Piedrín triturado	m <sup>2</sup>	1,25	Q 200,00	Q 250,00
6	Codo PVC Ø 2" x 90º para drenaje	u	4	Q 14,94	Q 59,76
7	Tubería PVC Ø 2" 125 PSI drenaje	u	1	Q 134,72	Q 134,72
8	Válvula de compuerta Ø " BR	u	1	Q 550,00	Q 550,00
9	Adaptador macho PVC Ø "	u	2	Q 38,59	Q 77,18
10	Válvula de flote Ø " BR	u	1	Q 800,00	Q 800,00
11	Adaptador hembra PVC Ø "	u	2	Q 49,76	Q 99,52
12	Pichacha PVC Ø "	u	1	Q 950,00	Q 950,00
13	Madera	pt	181	Q 5,00	Q 905,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 6 894,18</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Fundición de caja, concreto armado	m <sup>2</sup>	2,02	Q 250,00	Q 505,00
2	Armadura para caja	m <sup>2</sup>	16,8	Q 35,00	Q 588,00
3	Encofrado y desencofrado + repello y alisado interno	u	1	Q 700,00	Q 700,00
4	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 542,25	Q 542,25
5	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 467,21	Q 467,21
6	Supervisión	Global	1,00	Q 175,00	Q 175,00
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 2 977,46</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 9 871,64</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 1 974,33</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 1 974,33</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 1 658,44</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 15 478,74</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de Medida	Cantidad	Precio unitario
2.17	Caja para válvulas	U	10	Q 2 343,98

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Alambre de amarre	Libras	44	Q 7,00	Q 308,00
2	Cemento	Sacos	47	Q 72,00	Q 3 384,00
3	Hierro núm. 3	varilla	80	Q 35,00	Q 2 800,00
4	Arena de río	m <sup>3</sup>	2	Q 100,00	Q 200,00
5	Piedrín triturado	m <sup>3</sup>	2,5	Q 200,00	Q 500,00
6	Madera	pt.	360	Q 5,00	Q 1 800,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 8 992,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Encofrado, desencofrado, armado y fundición de cajas y tapadera, de concreto 0,10 m de espesor	caja	10	Q 200,00	Q 2 000,00
2	Repello + alisado interno	caja	10,00	Q 65,00	Q 650,00
3	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 1 192,50	Q 1 192,50
4	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 1 714,27	Q 1 714,27
5	Supervisión	Global	1,00	Q 400,08	Q 400,08
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 5 956,85</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 14 948,85</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 2 989,77</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 2 989,77</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 2 511,41</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 23 439,80</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.18	Paso de zanjón	Unidad	1	Q 15 233,83

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Arena de río	m <sup>3</sup>	1	Q 100,00	Q 100,00
2	Piedrín	m <sup>3</sup>	1,25	Q 200,00	Q 250,00
3	Cemento	sacos	20	Q 72,00	Q 1 440,00
4	Hierro núm. 6 grado 40	varilla	3	Q 150,00	Q 450,00
5	Hierro núm. 4 grado 40	varilla	3	Q 45,00	Q 135,00
6	Hierro núm. 3 grado 40	varilla	6	Q 35,00	Q 210,00
7	Alambre de amarre	lb.	6	Q 7,00	Q 42,00
8	Madera	pt.	80	Q 5,00	Q 400,00
9	Clavo de 3"	lb.	5	Q 7,00	Q 35,00
10	Cable de 1/2"	m	2	Q 40,00	Q 80,00
11	Hembra de 3/16" x 4" x 0.20 mts	u	8	Q 12,00	Q 96,00
12	Hembra de 1/4" x 3" x 10" para abrazadera	u	8	Q 6,00	Q 48,00
13	Hembra de 1/4" x 3" x 0,10 m para base, parte baja	u	8	Q 6,00	Q 48,00
14	Perno de anclaje de 5/8" x 4"	u	4	Q 10,00	Q 40,00
15	Perno de anclaje de 5/8" x 1½"	u	4	Q 10,00	Q 40,00
16	Tubo HG Ø 3"	u	1	Q 1 600,00	Q 1 600,00
17	Tubo HG Ø 4"	u	1	Q 2 000,00	Q 2 000,00
Subtotal materiales				Q	7 014,00

Continuación del apéndice A.

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Excavación	m <sup>3</sup>	1,50	Q 30,00	Q 45,00
2	Fundición y armado de bases	m <sup>3</sup>	1,78	Q 275,00	Q 489,50
3	Centrado de bases	u	4,00	Q 15,00	Q 60,00
4	Encofrado y desencofrado de bases	U	4,00	Q 15,00	Q 60,00
5	Colocación de cables y accesorios	global	1,00	Q 500,00	Q 500,00
6	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 519,53	Q 519,53
7	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 746,84	Q 746,84
8	Supervisión	Global	1,00	Q 280,58	Q 280,58
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 2,701,45</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q 9 715,45</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>					<b>Q 1 943,09</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>					<b>Q 1 943,09</b>
<b>IVA (12 %)</b>					<b>Q 1 632,20</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>Q 15 233,83</b>

Reglón	Descripción del reglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
<b>2.19</b>	<b>Relleno y compactación con material extraído</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1 174,31</b>	<b>Q 84,75</b>

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Vibro compactador manual	Semana	9,50	Q 1 000,00	Q 9 500,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 9 500,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Relleno y compactación de zanja (incluye acarreo)	m <sup>3</sup>	1 174,31	Q 14,00	Q 16 440,34
2	Mano de obra indirecta	Global	1,00	Q 7 398,15	Q 7 398,15
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 10 635,15	Q 10 635,15
4	Supervisión	Global	1,00	Q 4 197,52	Q 4 197,52
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 38 671,16</b>

Núm.	SUBCONTRATO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Jardinización (reposición de jardín demolido)	m <sup>2</sup>	102,00	Q 150,00	Q 15 300,00
<b>Subtotal subcontrato</b>					<b>Q 15 300,00</b>

<b>COSTO TOTAL</b>					<b>Q 63 471,16</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>					<b>Q 12 694,23</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>					<b>Q 12 694,23</b>
<b>IVA (12 %)</b>					<b>Q 10 663,15</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>Q 99 522,77</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.20	Relleno y compactación con material Selecto	m <sup>3</sup>	1 813,09	Q 217,72

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Material Selecto	m <sup>3</sup>	2 719,64	Q 60,00	Q 163 178,40
2	Sistema con agua	u	6,00	Q 200,00	Q 1 200,00
3	Pruebas de laboratorio	u	3,00	Q 200,00	Q 600,00
4	Vibro compactador manual	Semanas	8,00	Q 750,00	Q 6 000,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 170 978,40</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Compactación con material selecto	m <sup>3</sup>	1 813,09	Q 21,00	Q 38 074,89
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1,00	Q 17 133,70	Q 17 133,70
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1,00	Q 24 630,39	Q 24 630,39
4	Supervisión	Global	1,00	Q 933,86	Q 933,86
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 80 772,84</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 251 751,24</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 50 350,25</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 50 350,25</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 42 294,21</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 394 745,95</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.21	Reposición de carpeta de rodadura (asfalto) de 0,10 m de espesor	m <sup>2</sup>	83,6	Q 418,37

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Suministro y aplicación de mezcla asfáltica en caliente	m <sup>2</sup>	83,6	Q 215,00	Q 17 974,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 17 974,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Mano de obra	m <sup>2</sup>	83,6	Q 23,00	Q 1 922,80
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 865,26	Q 865,26
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 865,26	Q 1 243,85
4	Supervisión	Global	1	Q 300,04	Q 300,04
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 4 331,95</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 22 305,95</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 4 461,19</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 4 461,19</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 3 747,40</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 34 975,73</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.22	Reposición de carpeta de rodadura (concreto hidráulico) de 0,15 m de espesor	m <sup>2</sup>	30,68	Q 316,21

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Cemento	Sacos	49	Q 72,00	Q 3 528,00
2	Arena de río	m <sup>3</sup>	2	Q 100,00	Q 200,00
3	Piedrín triturado	m <sup>3</sup>	3,50	Q 200,00	Q 700,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 4 428,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Fundición plancha de concreto 0,10 m de espesor (terminada con cernido gris)	m <sup>2</sup>	30,68	Q 25,00	Q 767,00
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 345,15	Q 345,15
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 345,15	Q 496,17
4	Supervisión	Global	1	Q 150,75	Q 150,75
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 1 759,07</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 6 187,07</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 1 237,41</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 1 237,41</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 1 039,43</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 9 701,32</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.23	Reposición de banquetta de 0,10 m de espesor	m <sup>2</sup>	1 441,92	Q 175,91

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Cemento	Sacos	1 082	Q 72,00	Q 77 904,00
2	Arena de río	m <sup>3</sup>	58	Q 100,00	Q 5 800,00
3	Piedrín triturado	m <sup>3</sup>	60	Q 200,00	Q 12 000,00
4	Fachaleta doble de barro 6.5 x 5 x 23 cm (Cód. 34)	Millar	6,08	Q 1 750,00	Q 10 640,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 106 344,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Mano de obra	m <sup>2</sup>	1 441,92	Q 18,00	Q 25 954,56
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 11 679,55	Q 11 679,55
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 11 679,55	Q 16 789,83
4	Supervisión	Global	1	Q 997,46	Q 997,46
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 55 421,40</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 161 765,40</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 32 353,08</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 32 353,08</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 27 176,59</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 253 648,15</b>

Continuación del apéndice A.

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.24	Reposición de cuneta	m	1 981,12	Q 170,81

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Cemento	Sacos	1 170	Q 72,00	Q 84 240,00
2	Arena de río	m <sup>3</sup>	49	Q 100,00	Q 4 900,00
3	Piedrín triturado	m <sup>3</sup>	60	Q 200,00	Q 12 000,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 101 140,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Mano de Obra	m	1 981,12	Q 27,00	Q 53 490,24
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 24 070,61	Q 24 070,61
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 24 070,61	Q 34 602,48
4	Supervisión	Global	1	Q 2 509,88	Q 2 509 88
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 114 673,21</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 215 813,21</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 43 162,64</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 43 162,64</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 36 256,62</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 338 395,11</b>

Renglón	Descripción del renglón	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario
2.25	Limpieza y retiro de material sobrante	m	5 537,12	Q 10,68

Núm.	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Retiro de material	Flete	7	Q 691,00	Q 4 837,00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>Q 4 837,00</b>

Núm.	MANO DE OBRA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Limpieza general	m	5 537,12	Q 2,79	Q 15 448,56
2	Mano de obra indirecta (45 %)	Global	1	Q 6 951,85	Q 6 951,85
3	Prestaciones (44,6 %)	Global	1	Q 9 993,57	Q 9 993,57
4	Supervisión	Global	1	Q 483,59	Q 483,59
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>Q 32 877,57</b>

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>Q 37 714,57</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (20 %)</b>	<b>Q 7 542,91</b>
<b>UTILIDAD (20 %)</b>	<b>Q 7 542,91</b>
<b>IVA (12 %)</b>	<b>Q 6 336,05</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Q 59 136,44</b>

Fuente: elaboración propia.



Apéndice B.

**Planos de proyectos del sistema de abastecimiento de agua potable  
en la aldea Cuchilla del Carmen y del pavimento rígido en la calle principal  
de la aldea El Carmen, Santa Catarina Pinula**





PLANTA GENERAL Y CURVAS DE NIVEL  
ESCALA: 1:5000

RESUMEN	
Viviendas actuales (viv)	575
Densidad de vivienda (hab/viv)	500
Población actual (hab)	2875
Tasa de crecimiento (%)	3.86
Período de diseño (años)	27
Aforo en conjunto (L/s)	30.78
Dotación (L/hab/día)	125
Factor Máximo Diario - FMD	1.2
Factor Máximo Horario - FMH	2
% para calcular Vol en T.D.	40

Cantidad de auxiliares + comercios	3
Cantidad de escuelas	5
Cantidad de iglesias	0
Viviendas futuras (viv)	1607
Población futura (hab)	7994
Caudal medio Qm (L/s)	11.66
Caudal máximo diario - CMD (L/s)	13.99
Caudal Máximo horario CMH (L/s)	23.32
Tanque 1 Distribución calculado (m <sup>3</sup> )	403.00
Tanque 1 Distribución recomendado (m <sup>3</sup> )	N/A
Caudal hidrológico 3%	N/A

LIBRETA TOPOGRÁFICA		
Línea #	Longitud	Dirección
E-1	17.50	298° 09' 56.98"
E-2	12.40	352° 38' 11.38"
E-3	24.20	342° 39' 52.72"
E-4	12.97	313° 38' 44.37"
E-5	84.40	270° 59' 01.18"
E-6	18.74	328° 41' 04.13"
E-7	72.55	03° 53' 40.68"
E-8	81.57	297° 58' 18.63"
E-9	107.53	303° 11' 03.98"
E-10	188.78	349° 05' 29.82"
E-11	120.38	28° 07' 15.65"
E-12	86.80	59° 46' 26.72"
E-13	39.80	29° 17' 25.00"
E-14	77.65	54° 24' 09.60"
E-15	98.23	15° 38' 57.97"
E-16	45.60	63° 01' 57.79"
E-17	18.48	66° 00' 27.31"
E-18	20.34	6° 51' 58.18"
E-19	56.47	321° 31' 56.64"
E-20	153.24	7° 04' 58.98"
E-21	57.50	302° 05' 47.80"
E-22	100.35	238° 52' 38.07"
E-23	78.70	212° 19' 58.33"
E-24	56.97	278° 58' 40.51"
E-25	187.88	338° 15' 41.83"
E-26	98.37	14° 52' 57.28"
E-27	31.89	284° 17' 56.60"
E-28	102.34	312° 47' 30.22"
E-29	122.25	330° 17' 28.89"
E-30	204.35	160° 29' 58.07"
E-31	216.78	323° 40' 58.82"
E-32	156.83	90° 53' 29.37"
E-33	50.28	290° 35' 31.39"
E-34	182.22	298° 31' 18.82"
E-35	98.40	253° 32' 15.83"
E-36	99.72	231° 12' 09.97"
E-37	194.46	259° 32' 02.09"
E-38	199.89	258° 58' 59.49"
E-39	69.93	304° 37' 56.42"
E-40	104.40	305° 01' 56.02"
E-41	69.15	305° 54' 05.95"
E-42	53.86	313° 09' 59.79"
E-43	4.49	332° 32' 54.41"
E-44	6.00	43° 04' 29.64"



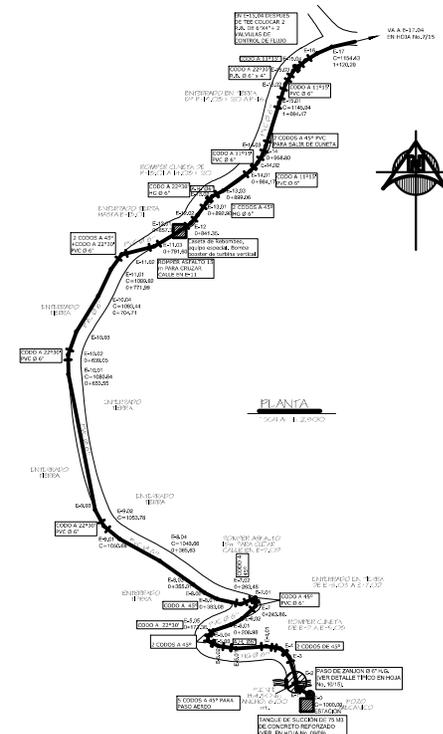
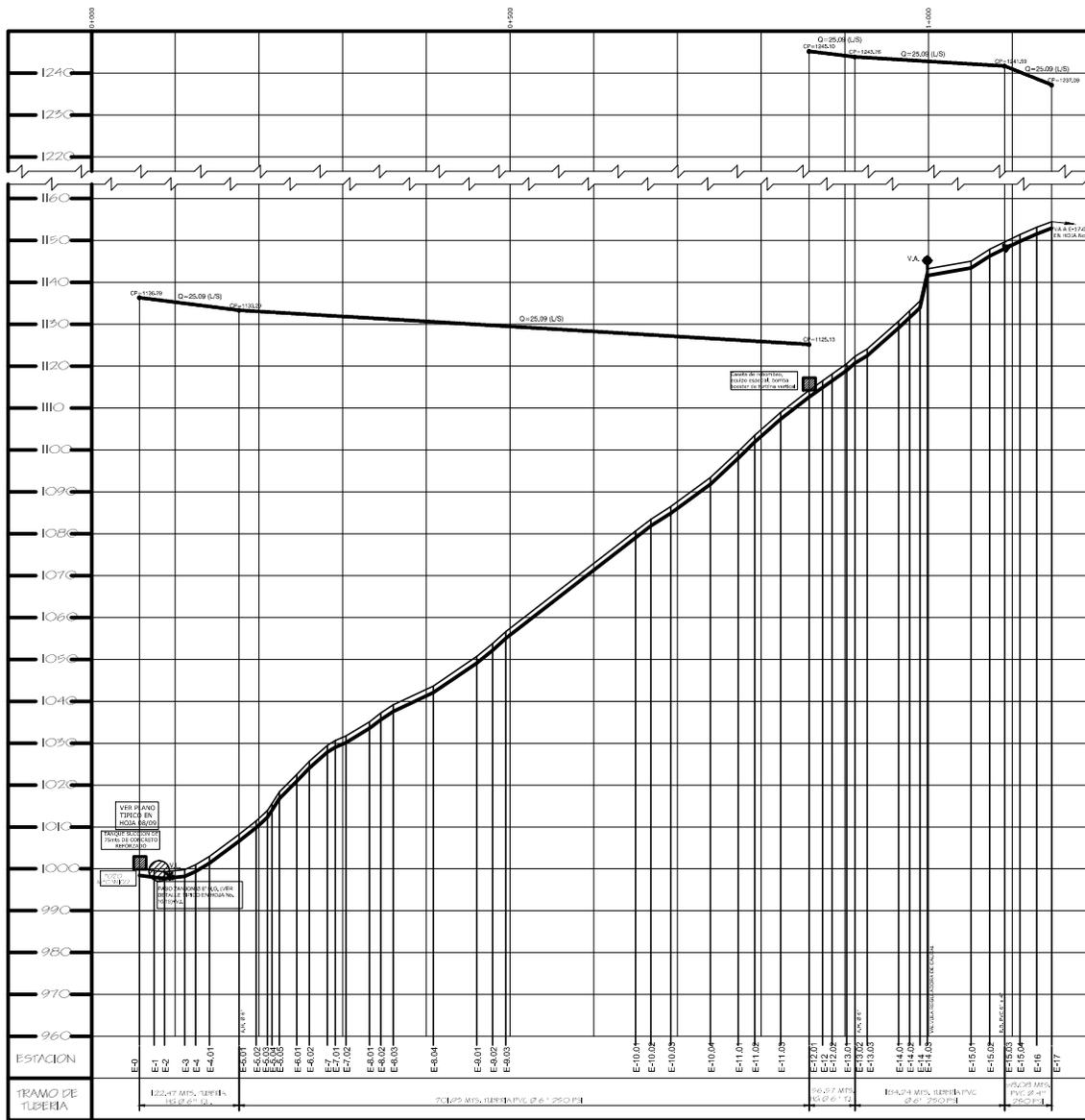
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
ESCUELA PROFESIONAL SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL

REPORTE DE APORTE DE TERCER SEMESTRE DE LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE OBRAS DE SANITACIÓN

**PLANTA GENERAL Y CURVAS DE NIVEL**

NOMBRE DEL ALUMNO	NOMBRE DEL TUTOR	FECHA	PÁGINA
INGENIERO ANGELO GARCIA MEJA	INGENIERO ANGELO GARCIA MEJA	2024/03/28	01

01 / 06



**SIMBOLOGIA**

LEYENDA	DESCRIPCION
[Symbol]	PROYECTO DE CONDUCCION

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
FACULTAD DE INGENIERIA SUPERIOR

RECTOR: DR. JOSE ANTONIO GARCIA MEA  
VICE-RECTOR: DR. JOSE ANTONIO GARCIA MEA

**PLANTA PERFIL LINEA DE CONDUCCION**

PROYECTO: [ ]  
DISEÑO: [ ]  
AUTOR: [ ]  
FECHA: [ ]

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA SUPERIOR  
RECTOR: DR. JOSE ANTONIO GARCIA MEA  
VICE-RECTOR: DR. JOSE ANTONIO GARCIA MEA

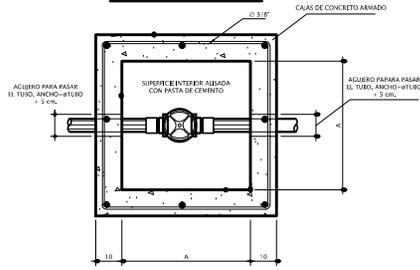
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA SUPERIOR  
RECTOR: DR. JOSE ANTONIO GARCIA MEA  
VICE-RECTOR: DR. JOSE ANTONIO GARCIA MEA



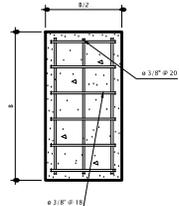




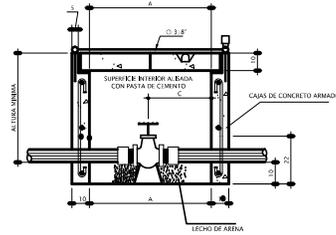
**CAJA DE CONCRETO**



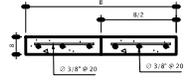
**PLANTA**  
CAJAS VALVULAS ESC. 1/10



**PLANTA**  
TAPABORCA CAJAS VALVULAS ESC. 1/10



**SECCION**  
CAJAS VALVULAS ESC. 1/10

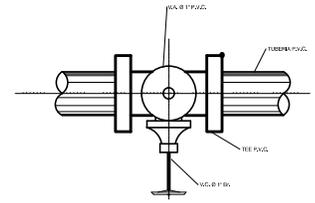


**SECCION**  
TAPABORCA CAJAS VALVULAS ESC. 1/10

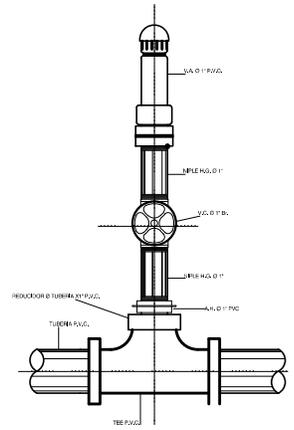
DIMENSIONES				
	A	B	C	ALTURA MINIMA
2"	50	58	25	40
2 1/2"	60	68	30	50
3"	70	78	35	60
4-5"	80	90	40	80

DIMENSIONES		
	B	B/2
2"	58	29
2 1/2"	68	34
3"	78	39
4-5"	90	45

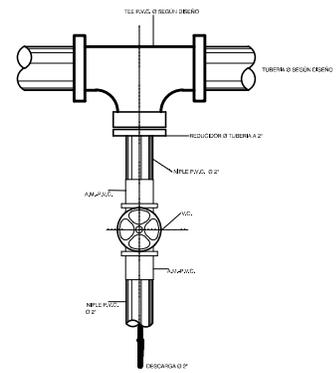
- NOTAS:**
- 1) LAS DIMENSIONES DE LA CAJA ESTAN DADAS EN CENTIMETROS
  - 2) EL SUELO DE SOPORTE DE LA VALVULA HA DE SER ARENOSA
  - 3) LAS PAREDES Y TAPA DE LA CAJA SE COSTRUIRAN DE CONCRETO  
Pc = 210 Kg/cm<sup>2</sup>
  - 4) EL ACERO DE REFUERZO SERA GRADO 40 KSI  
- VER DIMENSIONES EN CUADRO.



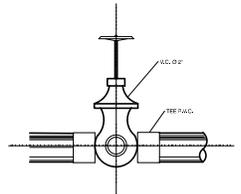
**PLANTA**  
VALVULA DE AIRE



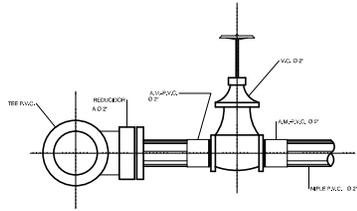
**ELEVACION**  
VALVULA DE AIRE



**PLANTA**  
VALVULA DE LIMPIEZA



**ELEVACION**  
VALVULA DE LIMPIEZA



**ELEVACION**  
VALVULA DE LIMPIEZA

REFERENCIAS	
P.V.C.	CLORURO DE POLIVINILO
H.G.	HIERRO GALVANIZADO
V.C.	VALVULA DE COMPUERTA
A.M.	ADAPTADOR MACHO
V.A.	VALVULA DE AIRE
A.H.	ADAPTADOR HEMBRA

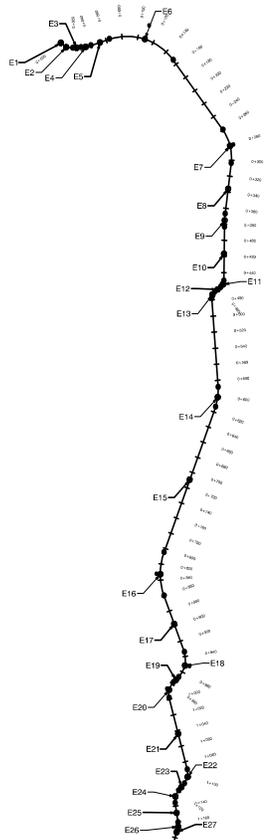
- NOTA:**  
EL DIAMETRO DE LA VALVULA DE LIMPIEZA SERA DE 2".
- NOTA:**  
LA VALVULA DE AIRE Y COMPUERTA SERA Ø 1".
- NOTA:**  
TODAS LAS VALVULAS DE LIMPIEZA SERAN VALVULAS DE COMPUERTA, LAS CUALES SE PROTEGERAN CON CAJAS DE CONCRETO SEGUN SE INDIQUE EN LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
ESCUELA DE INGENIERIA SUPERIOR  
FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO

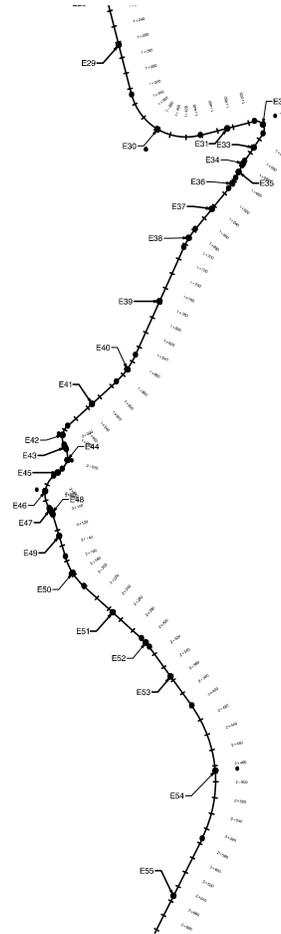
REPORTE DE LABORATORIO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA VALVULA DE LIMPIEZA DEL CORRIENTE DE SANTA CATERINA PUEBLO.

DETALLE DE VALVULAS			
PROFESOR: ANTONIO GARCIA MEJIA	ESTUDIANTE: [ ]	GRUPO: [ ]	FECHA: [ ]
ESTUDIANTE: ANTONIO GARCIA MEJIA	IDENTIFICACION: [ ]	PROFESOR: [ ]	[ ]
ESTUDIANTE: ANTONIO GARCIA MEJIA	IDENTIFICACION: [ ]	PROFESOR: [ ]	[ ]

06 06



Alineamiento 1.0				
Number	Radius	Length	Line Chord Direction	A Value
E2	17.00	16.41	S26° 50' 44.23"E	
E3		10.26	S54° 29' 51.69"E	
E4	50.00	12.50	S61° 39' 33.33"E	
E5		24.50	S68° 49' 14.96"E	
E6	70.00	89.58	S32° 09' 32.97"E	
E7	60.00	44.15	S25° 35' 00.24"W	
E8		63.21	S46° 39' 51.46"W	
E9	150.00	16.09	S43° 39' 30.81"W	
E10		67.09	S40° 31' 10.16"W	
E11	10.00	9.02	S66° 21' 14.03"W	
E12		8.86	N87° 48' 42.09"W	
E13	10.00	9.84	S63° 59' 16.89"W	
E14	60.00	24.58	S47° 31' 30.03"W	
E15		192.10	S99° 15' 44.19"W	
E16	80.00	54.57	S39° 43' 18.47"W	
E17		74.45	S20° 10' 52.76"W	
E18	30.00	33.82	S52° 28' 37.77"W	
E19		9.37	S84° 46' 22.78"W	
E20	20.00	20.66	S85° 10' 21.87"W	
E21		91.80	S25° 34' 20.97"W	
E22	20.00	18.57	S52° 10' 23.96"W	
E23		11.08	S76° 46' 27.00"W	
E24	20.00	16.59	S85° 09' 32.66"W	
E25		24.30	S31° 14' 36.36"W	
E26	20.00	10.51	S46° 17' 37.21"W	
E27		3.00	S61° 20' 36.06"W	
E28	40.00	25.12	S43° 20' 59.96"W	



E29		128.62	S25° 21' 23.86"W	
E30	70.00	109.96	S19° 38' 47.83"E	
E31		69.43	S64° 38' 59.51"E	
E32	10.00	24.20	S4° 40' 04.54"W	
E33		41.14	S73° 59' 08.60"W	
E34	50.00	6.37	S70° 20' 11.75"W	
E35		17.48	S66° 41' 14.91"W	
E36	70.00	15.50	S73° 01' 50.60"W	
E37		65.49	S79° 22' 26.29"W	
E38	100.00	26.87	S71° 40' 37.19"W	
E39		146.61	S63° 58' 48.09"W	
E40	100.00	41.97	S75° 44' 47.33"W	
E41		81.84	S87° 30' 46.57"W	
E42	20.00	25.73	S50° 39' 29.45"W	
E43		6.32	S13° 48' 12.34"W	
E44	20.00	26.60	S51° 54' 06.17"W	
E45		13.61	N90° 00' 00.00"W	
E46	30.00	44.13	S47° 51' 47.72"W	
E47		4.11	S5° 43' 35.45"W	
E48	20.00	6.14	S14° 31' 08.69"W	
E49		53.62	S23° 18' 41.94"W	
E50	80.00	43.81	S7° 37' 20.63"W	
E51		96.53	S8° 04' 00.69"E	
E52	70.00	14.86	S1° 59' 07.97"E	
E53		89.56	S4° 05' 44.76"W	
E54	160.00	174.25	S35° 17' 45.39"W	
E55		158.96	S66° 29' 46.01"W	

## PLANO TOPOGRÁFICO EST-1 A EST-28

ESCALA 1/3500

## PLANO TOPOGRÁFICO EST-29 A EST-55

ESCALA 1/3500

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA											
SERVICIO PROFESIONAL SUPERVISADO											
FACULTAD DE INGENIERÍA											
PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN											
MUNICIPIO DE SAN CAYETANO DEL VALLE											
TOPOGRAFIA											
PROYECTO	INDICADA										
PROYECTANTE	FECHA	PROYECTO Nº									
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA	AGOSTO 2016										
PROYECTANTE	FECHA	PROYECTO Nº									
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA											
PROYECTANTE	FECHA	PROYECTO Nº									
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA	2008/1963										
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			1	2	3	4					01
1	2	3	4								
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			1	2	3	4					10
1	2	3	4								



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

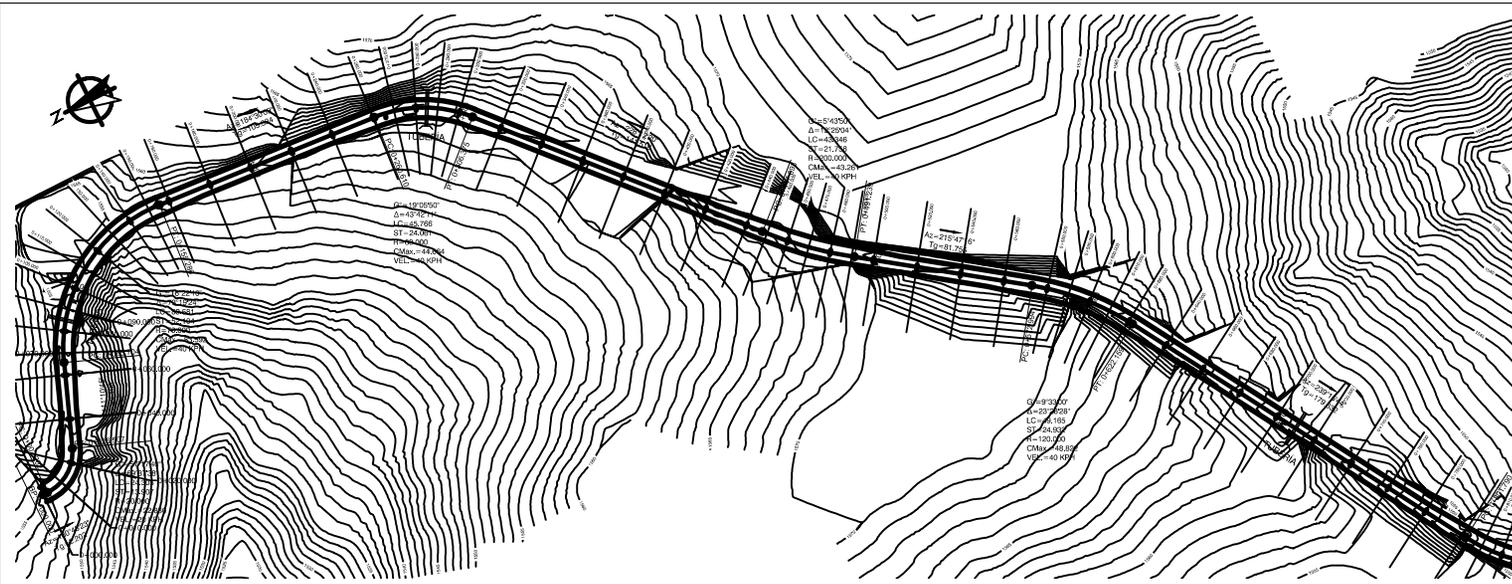
PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALCA EL CARMEN  
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PUEBLA

PLANTA - PERFIL ESTACION 0+000 - 0+800

ESTUDIO	PROYECTO	INDICADA
SERGIO ARRIOLA GARCIA MEJA		
ESTUDIO	PROYECTO	INDICADA
SERGIO ARRIOLA GARCIA MEJA		

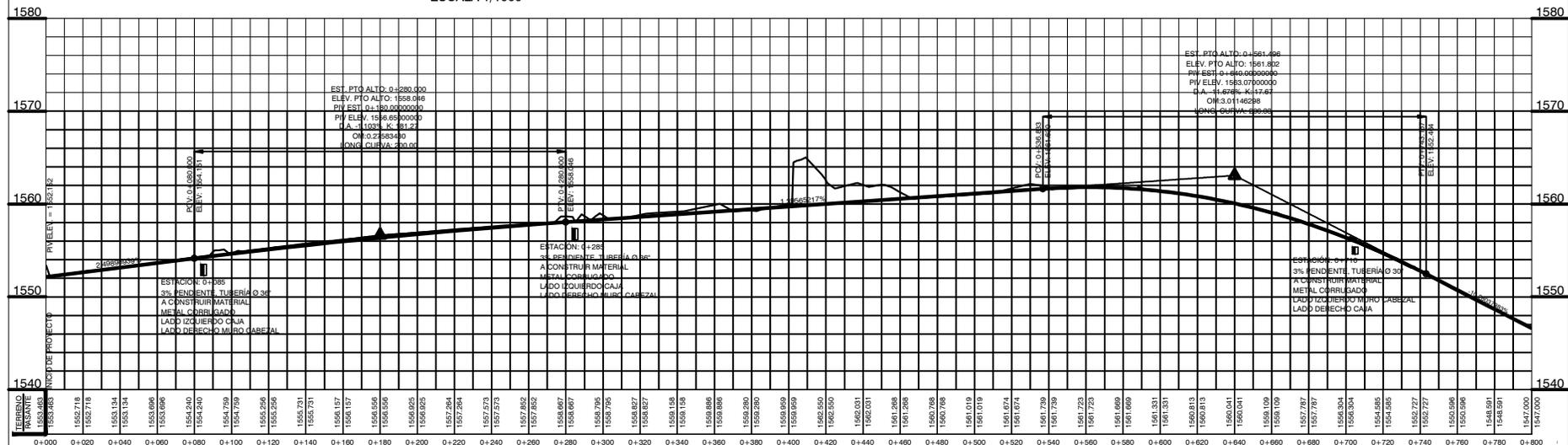
FECHA: 03/10/2011

03 10



**PLANTA DEL ALINEAMIENTO**

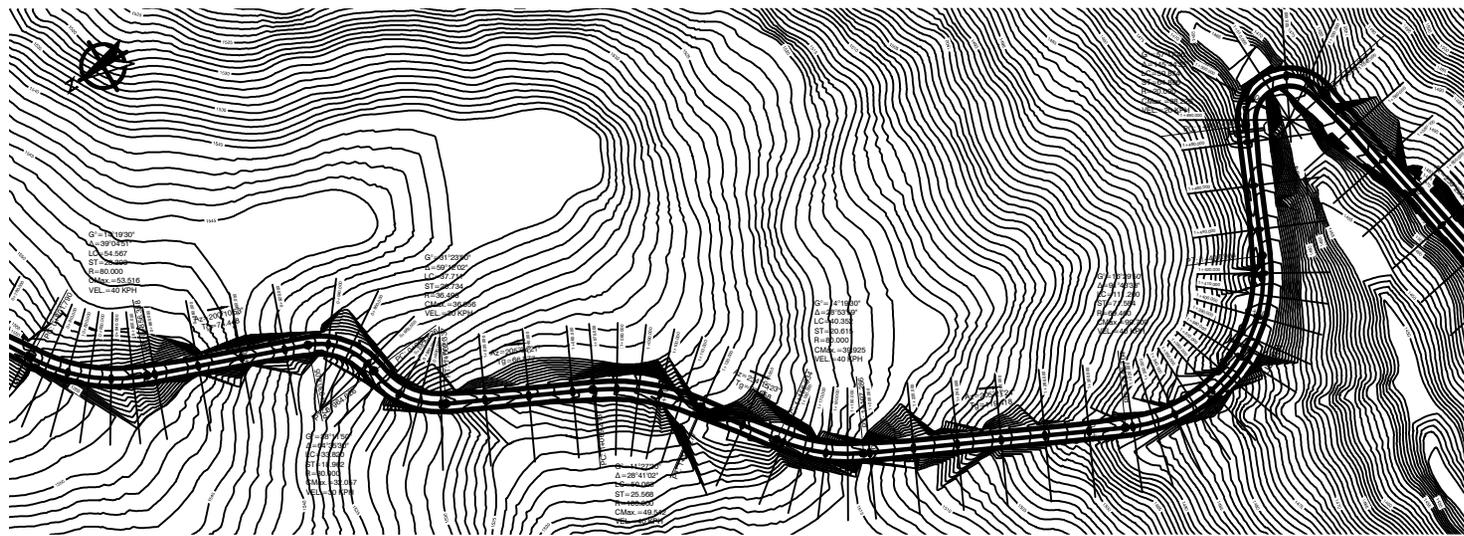
ESCALA 1/1000



**PERFIL**

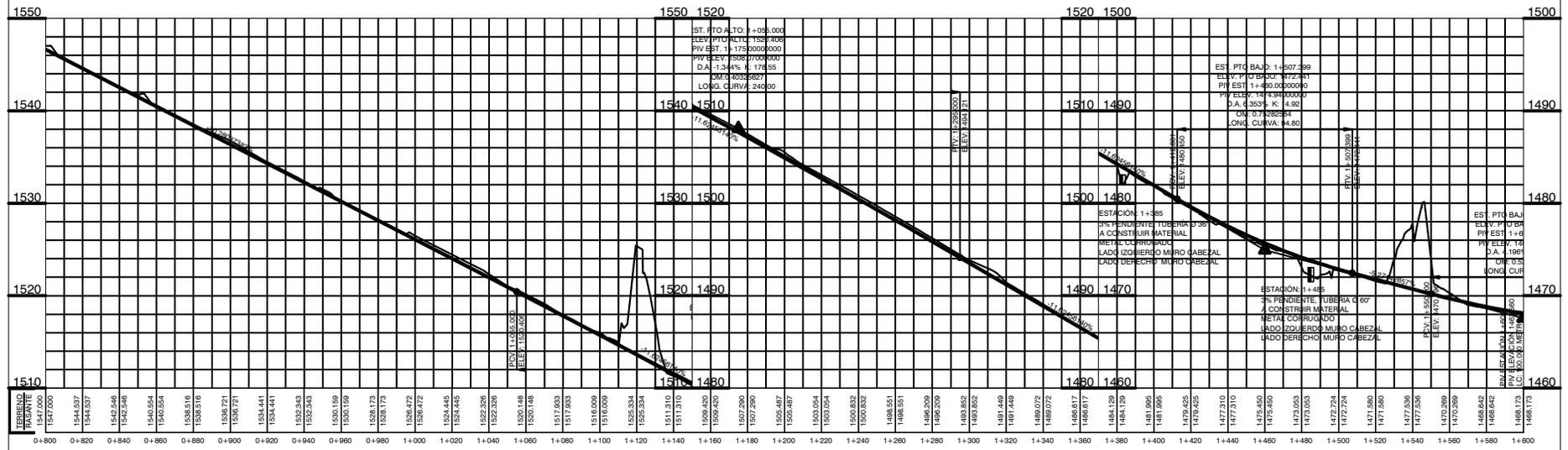
ESCALA H: 1/1000  
V: 1/200

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO			
PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN			
MUNICIPIO DE SANTA CATERINA PRIMA			
PLANTA: PEPLIESTACION 0+800 - 1+600			
PROYECTISTA	PROYECTO	INDICADA	
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA			
PROYECTISTA	FECHA		
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA	2008/10/03		
Escala: 1:1000			04
Hoja: 10			



**PLANTA DEL ALINEAMIENTO**

ESCALA 1/1000



**PERFIL**

ESCALA H: 1/1000  
V: 1/200

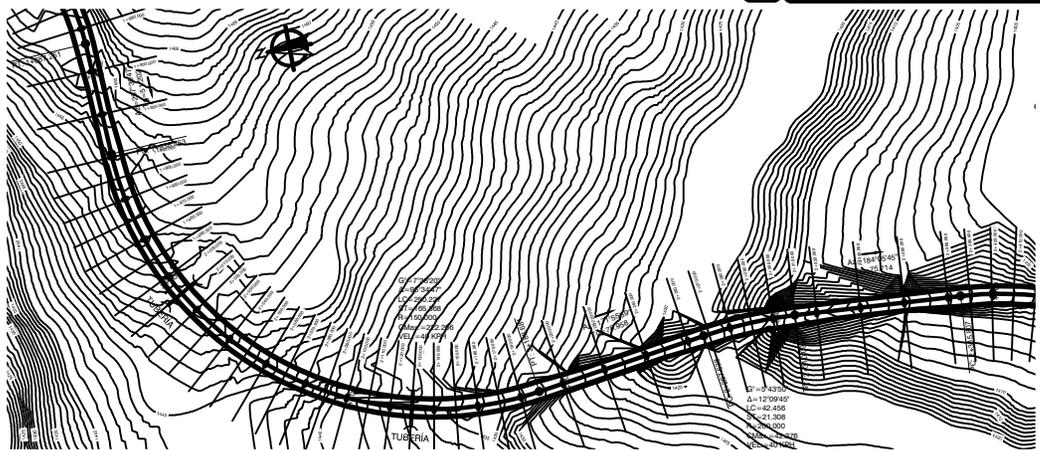
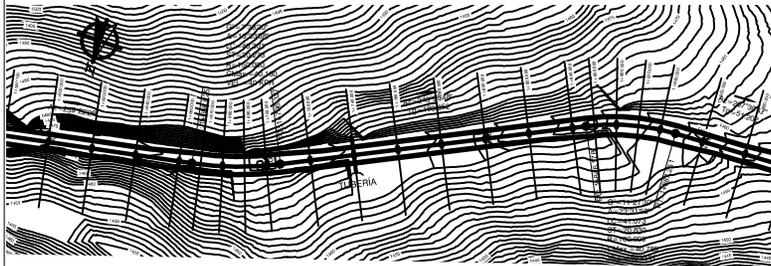
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN  
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PUEBLO

PLANTA: PERFIL ESTACION 1+000 - 2+400

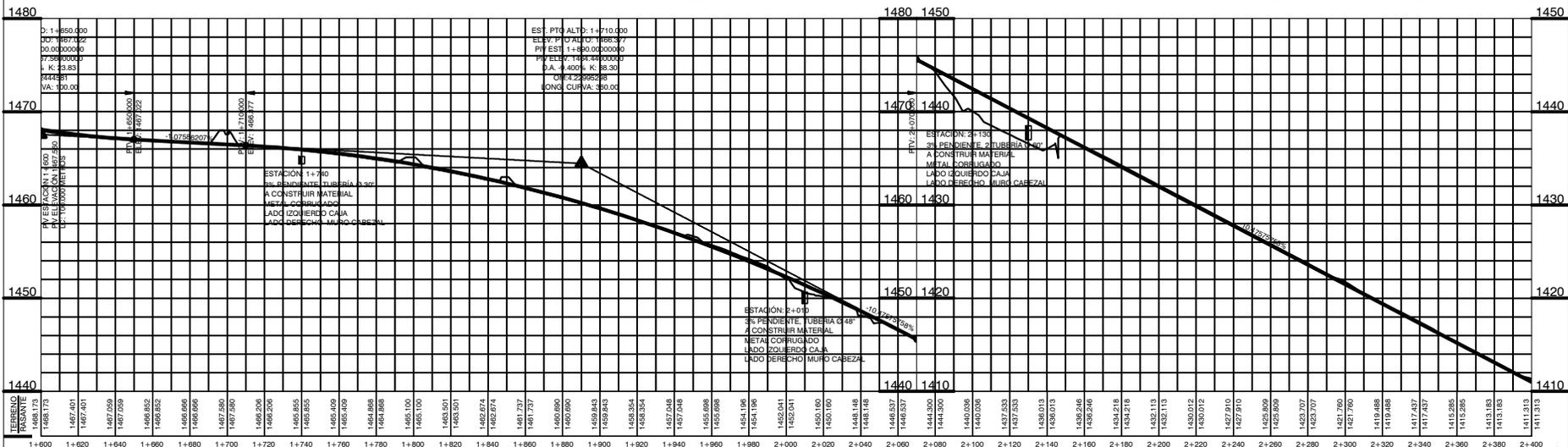
ESTUDIO ARNOLDO GARCIA MEJA	PROYECTO	INDICADA
ESTUDIO ARNOLDO GARCIA MEJA	PROYECTO	PROYECTO
ESTUDIO ARNOLDO GARCIA MEJA	0001/1503	05

10



### PLANTA DEL ALINEAMIENTO

ESCALA 1/1000



### PERFIL

ESCALA H: 1/1000  
V: 1/200

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

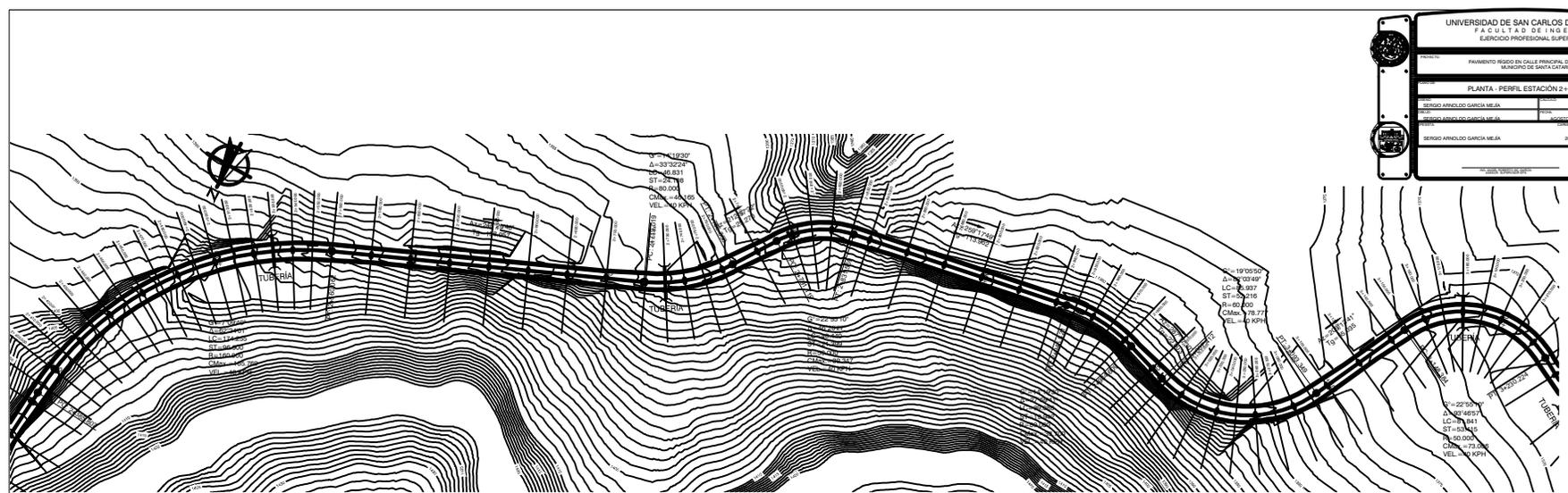
PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN  
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PUEBLA

PLANTA - PERFILESTACION 2+400 - 3+200

PROYECTISTA	FECHA	INDICADA
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA		
PROYECTISTA	FECHA	INDICADA
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA	2008/10/03	

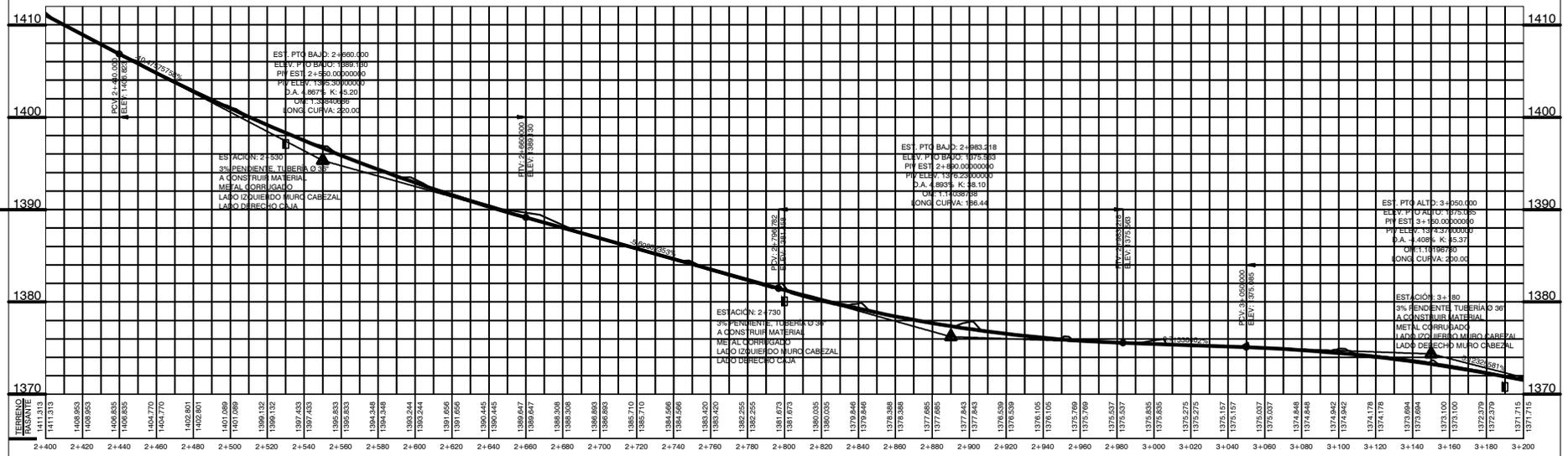
PROYECTO: PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PUEBLA

HOJA: 06 DE 10



### PLANTA DEL ALINEAMIENTO

ESCALA 1/1000



### PERFIL

ESCALA H: 1/1000  
V: 1/200

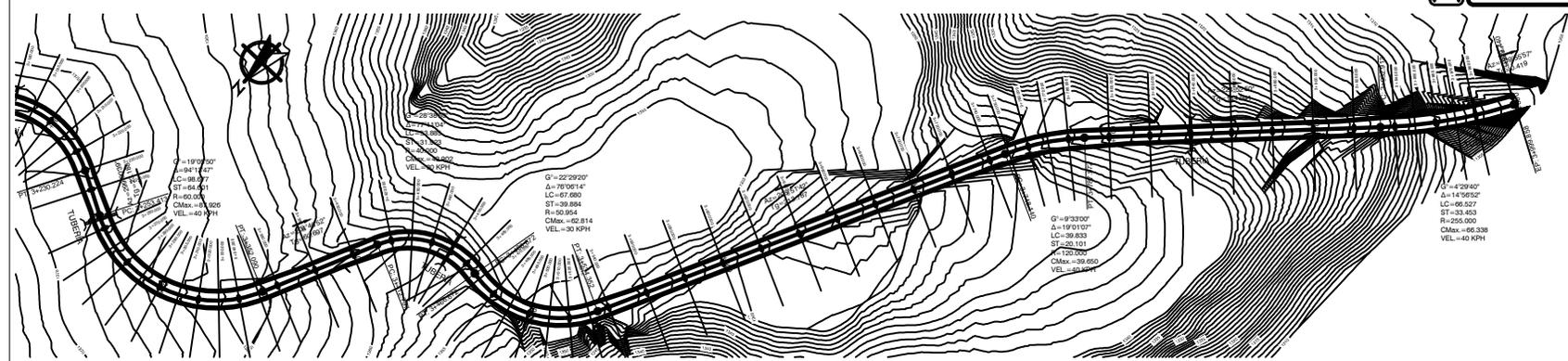
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PAVIMENTO PUDD EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN  
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PUEBLO

PLANTA: PEPLIESTACION 3+200 - 4+000

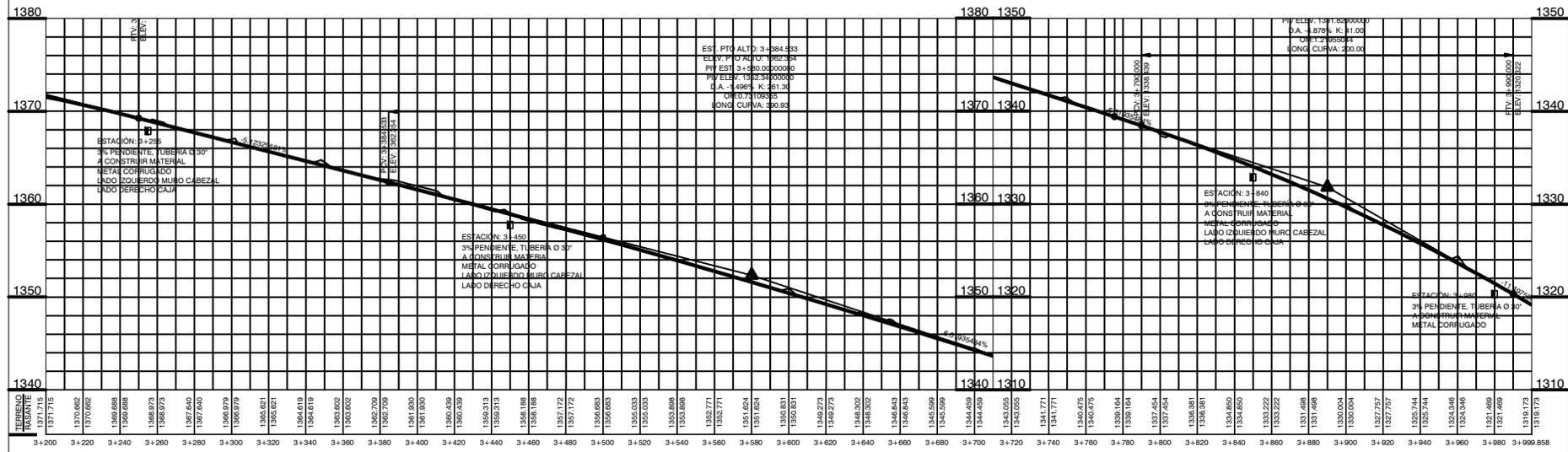
ESTUDIO ARNOLDO GARCIA MEJA	PROYECTO	INDICADA
ESTUDIO ARNOLDO GARCIA MEJA	PROYECTO	INDICADA
ESTUDIO ARNOLDO GARCIA MEJA	0001/1503	07

10



**PLANTA DEL ALINEAMIENTO**

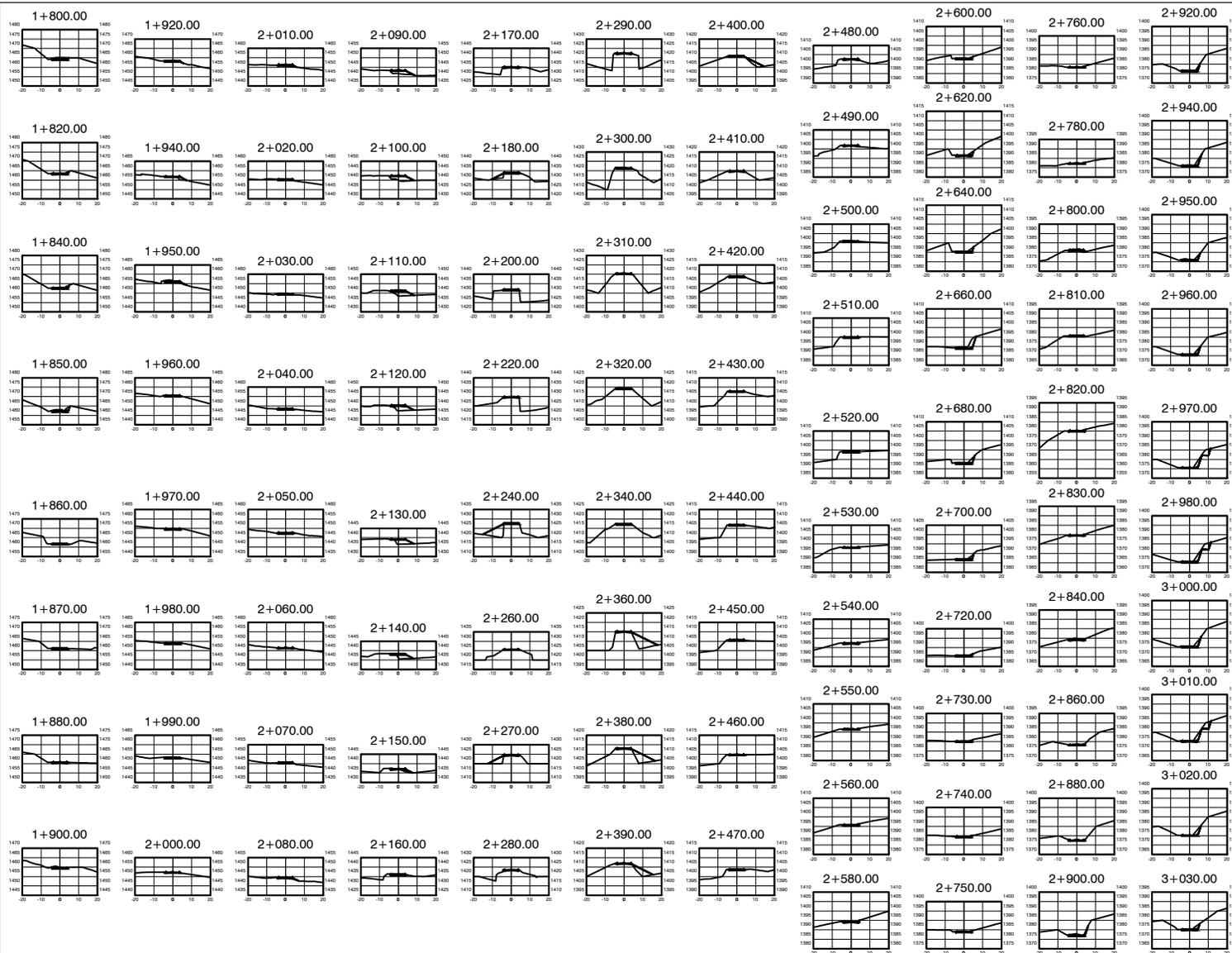
ESCALA 1/1000



**PERFIL**

ESCALA H: 1/1000  
V: 1/200





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA											
FACULTAD DE INGENIERIA											
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO											
PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL CARMEN											
MUNICIPIO DE SANTA CATERINA PAZ											
SECCIONES TRANSVERSALES											
<table border="1"> <tr> <td>ESTRUCO</td> <td>PROYECTO</td> <td>INDICADA</td> </tr> <tr> <td>SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	ESTRUCO	PROYECTO	INDICADA	SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA			<table border="1"> <tr> <td>FECHA</td> <td>INDICADA</td> </tr> <tr> <td>2008/10/03</td> <td></td> </tr> </table>	FECHA	INDICADA	2008/10/03	
ESTRUCO	PROYECTO	INDICADA									
SERGIO ARNOLDO GARCIA MEJA											
FECHA	INDICADA										
2008/10/03											
<table border="1"> <tr> <td>PROFESOR GUATEMALA</td> <td>09</td> <td>10</td> </tr> </table>		PROFESOR GUATEMALA	09	10							
PROFESOR GUATEMALA	09	10									

## SECCIONES TRANSVERSALES

ESCALA H: 1/1000  
V: 1/1000



# ANEXOS

## Anexo A. Ensayo de razón soporte California



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



---

**INFORME No.:** 010 S.S.      **O.T. No.:** 30,771

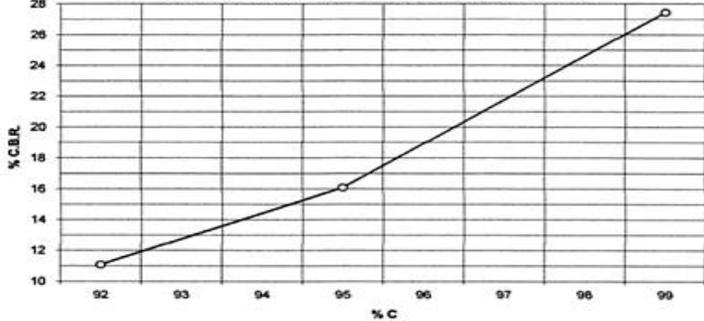
**Interesado:** Sergio Arnoldo García Mejía  
**Asunto:** Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)      **Norma:** A.A.S.H.T.O.T-193  
**Proyecto:** EP 8 "Diseño de pavimento rígido en calle principal de aldeas El Carmen, Santa Catarina Pinula, Guatemala"

**Ubicación:** Santa Catarina Pinula  
**Descripción del suelo:** Arena Limosa color Café Oscuro

**Fecha:** Martes, 15 de enero de 2013

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	Y <sub>s</sub> (Lb/pie <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
1	10	19.00	88.9	92.0	0.00	11.1
2	30	19.00	92.6	95.9	0.00	16.1
3	65	19.00	96.1	99.5	0.00	27.4

**GRAFICA DE % C.B.R.- % DE COMPACTACION**



Vo. Bo.:



**Inga. Teima Maripela Cano Morales**  
DIRECTORA CII/USAC





**Ing. Omar Enrique Madrano Mendez**  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



---

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

## Anexo B. Ensayo de compactación

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>	
INFORME No. 009 S.S.                      O.T. No.: 30,771		
Interesado: Sergio Arnoldo García Mejía		
Asunto: <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN.</b> Proctor Estándar: ( ) Norma:		
Proyecto: EPS "Diseño de pavimento rígido en calle principal de aldeas El Carmen, Santa Catarina Pinula, Guatemala"                      Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180		
Ubicación: Santa Catarina Pinula, Guatemala		
Fecha: Martes, 15 de enero de 2013		
<b>GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD</b>		
		
Descripción del suelo: Arena Limosa color Café Oscuro		
Densidad seca máxima γ <sub>d</sub> : 1,548 Kg/m <sup>3</sup> 96.6 lb/pie <sup>3</sup>		
Humedad óptima Hop.: 19.0 %		
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.		
Atentamente,		
Vo. Bo.:	 <b>Inga. Telma Maricela Carrón Morales</b> DIRECTORA CI/USAC	
		 <b>Ing. Omar Enrique Medrano Mendez</b> Jefe Sección Mecánica de Suelos
		
FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://ci.usac.edu.gt">http://ci.usac.edu.gt</a>		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

## Anexo C. Ensayo de análisis granulométrico



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



---

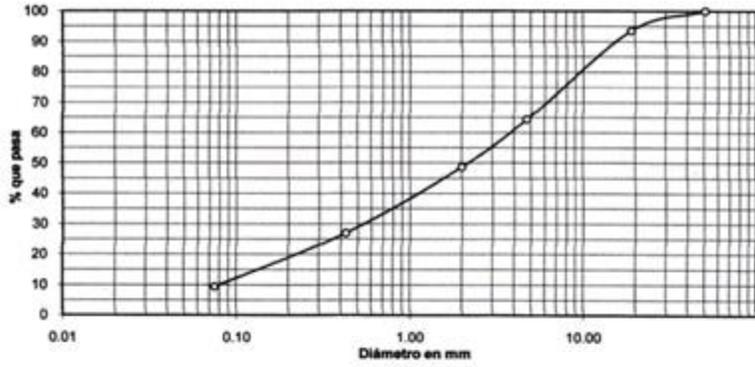
INFORME No. 008 S.S.

O.T. No. 30,771

Interesado: Sergio Arnoldo García Mejía  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: EPS "Diseño de pavimento rígido en la calle principal de la aldea El Carmen, Santa Catarina Pinula, Guatemala"  
 Ubicación: Santa Catarina Pinula, Guatemala  
 Fecha: Martes, 15 de enero de 2013

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	93.57
4	4.75	64.44
10	2	48.72
40	0.425	27.00
200	0.075	9.45

% de Grava: 35.56  
 % de Arena: 54.99  
 % de finos: 9.45



Descripción del suelo: Arena Limosa color Café Oscuro  
 Clasificación: S.C.U.: SP-SM P.R.A.: A-1-a  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Vb. Bo.

*Inga. Telma Maricela Cano Morales*  
 DIRECTORA CII/USAC

Atentamente,



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



---

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

## Anexo D. Ensayo de límites de Atterberg



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



---

INFORME No. 007 S.S.                      O.T.: 30,771

Interesado: Sergio Arnoldo Garcia Mejia  
 Proyecto: EPS "Diseño de pavimento rígido en la calle principal de la aldea El Carmen, Santa Catarina Pinula, Guatemala"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90  
 Ubicación: Santa Catarina Pinula  
 FECHA: Martes, 15 de enero de 2013

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	NP	NP	ML	Arena Limosa color Café Oscuro

(\*) CLASIFICACION SEGUN CARTA DE PLASTICIDAD  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Va. Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC





Inga. Omar Enrique Meciano Mendez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



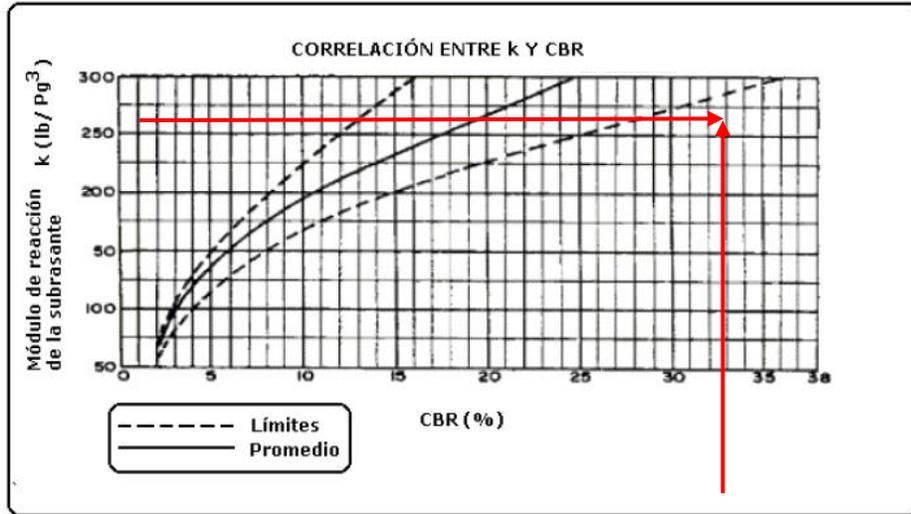
---

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo E. **Gráfico de correlación entre k y CBR**

Módulo de K



Valor K = 290,00

Fuente: INVIAS. *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.* p. 47.

Anexo F. Prueba de bombeo

Fecha :		P R U E B A D E B O M B E O		Pagina : 1			
PROPIETARIO: EQUIPOS Y VALVULAS, S.A.		LINEA DE AIRE A 16 PIES		Trabajo: 10642			
UBICACION : CABECERA MUNICIPAL SANTA CATARINA PINULA		PRODUCCION DEL POZO 488 G.P.M.		Prueba : 2848			
EQUIPO : L3 (C-53977) LIMPIEZA GMC 1976 10 TN ROJ		ETAPAS DE LA BOMBA DE LA PRUEBA DE BOMBEO 13					
OPERADOR : JORGE DAVID HERRERA MEZA		POTENCIA DE LA BOMBA EN LA PRUEBA DE BOMBEO 150 H.P.					
Hora	Mínutos	Nivel en Metros	L. Piezometro (Pulgadas)	Nivel del Agua (Pies)	Abatimiento (Pies)	Caudal (G.P.M.)	Observaciones
JULIO 28	2,011	0.00		0.00	0.00		
11:30	0	34.66	10.50	113.68	113.68	402	
11:31	1	40.24	10.50	131.99	131.99	402	
11:32	2	38.66	10.50	126.80	126.80	402	
11:33	3	39.05	10.50	128.08	128.08	402	
11:34	4	41.71	10.50	136.81	136.81	402	
11:35	5	43.60	10.50	143.01	143.01	402	
11:36	6	45.00	10.50	147.60	147.60	402	
11:37	7	46.13	10.50	149.90	149.90	402	
11:38	8	46.89	10.50	151.31	151.31	402	
11:39	9	48.81	10.50	153.80	153.80	402	
11:40	10	50.55	10.50	160.10	160.10	402	
11:42	12	52.10	10.50	165.80	165.80	402	
11:44	14	53.11	10.50	170.89	170.89	402	
11:45	16	57.32	10.50	174.20	174.20	402	
11:48	18	61.55	10.50	188.01	188.01	402	
11:50	20	63.35	10.50	195.00	195.00	402	
11:55	25	64.94	10.50	201.88	201.88	402	
12:00	30	66.49	10.50	207.79	207.79	402	
12:05	35	68.35	10.50	213.00	213.00	402	
12:10	40	71.98	10.50	218.09	218.09	402	
12:15	45	73.93	10.50	224.19	224.19	402	
12:20	50	77.77	10.50	236.09	236.09	402	
12:25	55		16.50	242.49	242.49	402	
12:30	60		16.50	235.90	235.90	503	
12:45	75		16.50	255.09	255.09	503	
13:00	90		16.50				INICIO PRUEBA DE BOMBEO

Fuente: prueba de bombeo realizada por empresa Equipos y Válvulas, S.A.