

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA  
CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE  
SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.**

**CARLOS ALBERTO VELÁSQUEZ DE LEÓN**

SAN MARCOS, AGOSTO DE 2024.



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA  
CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE  
SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:  
CARLOS ALBERTO VELÁSQUEZ DE LEÓN**

**ASESOR: ING. LUIS CARLOS RODRÍGUEZ CAMEROS  
REVISORA: ING. ARÉLIS SARAÍ FUENTES PÉREZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**SAN MARCOS, AGOSTO DE 2024.**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO**

M. Sc. JUAN CARLOS LÓPEZ NAVARRO  
**DIRECTOR**

LICDA. ASTRID FABIOLA FUENTES MAZARIEGOS  
**SECRETARIA CONSEJO DIRECTIVO**

ING. AGRO. ROY WALTER VILLACINDA MALDONADO  
**REPRESENTANTE DOCENTE**

BR. LUIS DAVID CORZO RODRÍGUEZ  
**REPRESENTANTE ESTUDIANTIL**

LIC. OSCAR ALBERTO RAMÍREZ MONZÓN  
**REPRESENTANTE ESTUDIANTIL**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**COORDINACIÓN ACADÉMICA**

COORDINADOR ACADÉMICO

PhD. ROBERT ENRIQUE OROZCO  
SÁNCHEZ

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA E INGENIERO  
AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN  
AGRICULTURA SOSTENIBLE

ING. AGR. CARLOS ANTULIO  
BARRIOS MORALES

COORDINADOR, CARRERA PEDAGOGIA  
Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

LIC. ANTONIO ETIHEL OCHOA  
LÓPEZ

COORDINADORA, CARRERA TRABAJO  
SOCIAL

MSc. AMINTA ESMERALDA  
GUILLÉN RUÍZ

COORDINADOR, CARRERA  
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

ING. VÍCTOR MANUEL FUENTES  
LÓPEZ

COORDINADORA, CARRERA ABOGADO  
Y NOTARIO Y LICENCIATURA EN  
CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES

LIC. MAURO ESTUARDO  
RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

COORDINADORA, CARRERA MÉDICO Y  
CIRUJANO

DR. BYRON GEOVANY GARCÍA  
OROZCO

COORDINADOR, CARRERA PEDAGOGÍA  
EXTENSIÓN DE SAN MARCOS

MSc. NELSON DE JESÚS  
BAUTISTA LÓPEZ

COORDINADORA, EXTENSIÓN PLAN FIN DE SEMANA, MALACATÁN

LICDA. JULIA MARITZA GÁNDARA GONZÁLES

COORDINADORA, EXTENSIÓN PLAN FIN DE SEMANA, TEJUTLA

LICDA. MIRNA LISBET DE LEÓN RODRÍGUEZ

COORDINADOR, EXTENSIÓN DE TACANÁ

LIC. MARVIN EVELIO NAVARRO BAUTISTA

COORDINADOR, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES -IDICUSAM-

PhD. ROBERT ENRIQUE OROZCO SÁNCHEZ

COORDINADOR DE EXTENSIÓN

LIC. MARIO RENÉ REQUENA

COORDINADOR, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ING. OSCAR ERNESTO CHÁVEZ ANGEL

COORDINADOR, CARRERA CONTADURÍA PÚBLICA Y AUDITORIA

LIC. CARLOS EDELMAR VELÁSQUEZ GONZÁLES

COORDINADOR, CARRERA PROFESORADO EN EDUCACIÓN PRIMARIA BILINGÜE INTERCULTURAL

MSc. DANILO ALBERTO FUENTES BRAVO

COORDINADOR, CARRERA CIENCIAS POLÍTICAS, RELACIONES INTERNACIONALES Y SOCIOLOGÍA

LIC. YOVANI ALBERTO CUX CHAN

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN DE EPS**

ING. OSCAR ERNESTO CHÁVEZ ANGEL  
**COORDINADOR DE CARRERA**

ING. LUIS CARLOS RODRÍGUEZ CAMEROS  
**COORDINADOR DE EPS**

ING. EDWIN RENÉ BARRIOS SANDOVAL  
**SECRETARIO**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL EXAMINADOR DE EPS**

ING. OSCAR ERNESTO CHÁVEZ ANGEL

ING. EDWIN RENÉ BARRIOS SANDOVAL

ING. LUIS CARLOS RODRÍGUEZ CAMEROS



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

M. Sc. JUAN CARLOS LÓPEZ NAVARRO  
**DIRECTOR**

PhD. ROBERT ENRIQUE OROZCO SÁNCHEZ  
**COORDINADOR ACADÉMICO**

ING. OSCAR ERNESTO CHÁVEZ ANGEL  
**COORDINADOR DE LA CARRERA**

ING. LUIS CARLOS RODRÍGUEZ CAMEROS  
**ASESOR**

ING. ARÉLIS SARAÍ FUENTES PÉREZ  
**REVISORA**





**USAC**  
**TRICENTENARIA**

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario de San Marcos | CUSAM  
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

San Marcos, 17 de enero de 2024

A: Coordinación de EPS  
Carrera de Ingeniería Civil

Apreciables Integrantes de la Comisión de EPS

Por este medio atentamente le informo que, como Asesor de la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado EPS, del estudiante Universitario **Carlos Alberto Velásquez de León**, Registro Académico **201230762** y CUI **2457 22696 1201** de la Carrera de Ingeniería Civil, le brinde asesoría en la realización del informe final, cuyo título es; **"APERTURA DE BRECHA Y DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS."**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitando darle el trámite respectivo, sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

  
Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros  
Colegiado Activo 10,212  
Asesor de EPS

**Luis Carlos Rodríguez C**  
**INGENIERO CIVIL**  
Colegiado No. 10212





San Marcos, 24 de enero de 2024.

Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros:  
Coordinador de Unidad de EPS  
Carrera de Ingeniería Civil

Estimado Ingeniero Luis Carlos Rodríguez Cameros:

Por este medio atentamente le informo que, como Revisora de la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado EPS, del estudiante universitario Carlos Alberto Velásquez de León, Registro Académico 201230762 y CUI 2457 22696 1201 de la Carrera de Ingeniería Civil, le brindé asesoría en la realización del informe, cuyo título es; APERTURA DE BRECHA Y DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo, sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente:

Ing. Arélis Sarai Fuentes Pérez  
Colegiado activo 16,204  
Revisora de EPS





Quetzaltenango, 15 de mayo de 2024.

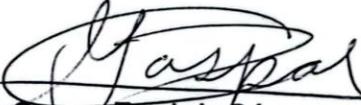
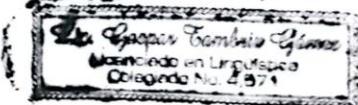
Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros  
Coordinador de Unidad de EPS  
Carrera de Ingeniería Civil  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario de San Marcos -CUSAM-

Respetable Ingeniero:

Por medio de la presente me dirijo a usted, para informarle que se procedió a la revisión y corrección de la parte lingüística al trabajo de graduación del estudiante Carlos Alberto Velásquez de León, con Registro Académico 201230762 titulado: "DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS".

Después de revisarlo detenidamente y señaladas las recomendaciones pertinentes al estudiante, le comunico en calidad de revisor de la parte lingüística, dicho trabajo llena los requisitos que exige la Universidad.

Me suscribo de usted, atentamente,

  
Lic. Gaspar Tambriz Gómez  
Licenciado en Lingüística  
Colegiado No. 4,571  


c.c/arch



San Marcos, San Marcos

05 de agosto de 2,024

Ing. Oscar Ernesto Chávez Ángel.  
Coordinador.  
Carrera de Ingeniería Civil.  
Centro Universitario de San Marcos.

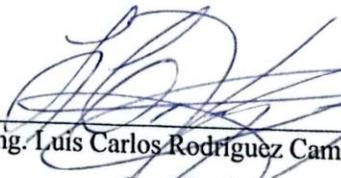
Respetable ingeniero, me es grato saludarle deseando éxitos en sus actividades tanto profesionales como personales.

Por este medio le envió el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), titulado: **"DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS"**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Carlos Alberto Velásquez de León**, CUI **2457 22696 1201** y registro académico **201230762**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros y asimismo contando con la revisión de la Inga. Arélis Saraí Fuentes Pérez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley referido trabajo y existiendo la aprobación del Asesor, Revisor y Lingüista apruebo su contenido, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme

Atentamente:

  
Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros  
Coordinador

Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado





05 de agosto de 2,024.

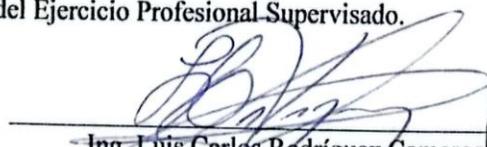
Ingeniero: Oscar Ernesto Chávez Ángel.  
Coordinador Carrera de Ingeniería Civil.  
Centro Universitario de San Marcos.

Para su conocimiento y efectos, transcribo a usted el punto CUARTO APROBACIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN 4.2 del acta no. 006-2024 de sesión ordinaria del Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado realizada de manera presencial el 02 de agosto de 2,024 que dice:

Se tuvo a la vista la solicitud presentada el día 01 de agosto del año 2,024, por el estudiante: **Carlos Alberto Velásquez de León**, carné **201230762** la cual dice:

Yo, **Carlos Alberto Velásquez de León**, con número de carné **201230762**, con cierre de pensum de la licenciatura de la carrera de Ingeniería Civil, me permito solicitar, **DICTAMEN FINAL**, del tema: **"DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS."**, habiendo cumplido con lo establecido por el asesor Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros, así mismo por la revisora Inga. Arélis Sarai Fuentes Pérez, Lingüista, Gaspar Tambriz Gómez, Coordinador EPS Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros para el efecto adjunto el informe correspondiente y los dictámenes emitidos por los profesionales antes mencionados.

Para lo cual la Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Ingeniería Civil, de conformidad con el artículo 21 inciso c. del normativo vigente, por unanimidad, **APRUEBA** el Trabajo denominado: **"DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS"**, presentado por el estudiante: **Carlos Alberto Velásquez de León** carné **201230762**, presentado como informe final de Trabajo de Graduación. El presente acuerdo deberá remitirse a la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Civil para su conocimiento y efectos de conformidad con la normativa vigente del Ejercicio Profesional Supervisado.

  
Ing. Luis Carlos Rodríguez Cameros  
Secretario

Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado  
Ingeniería CUSAC-CUSAM



CC. Archivo.



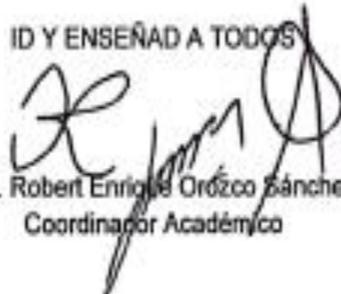
**ESTUDIANTE:** CARLOS ALBERTO VELÁSQUEZ DE LEÓN  
**CARRERA:** INGENIERÍA CIVIL  
CUSAM, Edificio.

Atentamente transcribo a usted el Punto **QUINTO: ASUNTOS ACADÉMICOS**, inciso a) subinciso a.13) del Acta No. 013-2024, de sesión ordinaria celebrada por la Coordinación Académica, el 07 de agosto de 2024, que dice:

**"QUINTO: ASUNTOS ACADÉMICOS: a) ORDENES DE IMPRESIÓN. CARRERA: INGENIERÍA CIVIL. a.13)** La Coordinación Académica conoció Providencia No. IC-CUSAM-22-2024, de fecha 5 agosto de 2024, suscrita por el Ing. Oscar Ernesto Chávez Ángel, Coordinador Carrera Ingeniería Civil, a la que adjunta solicitud del estudiante: CARLOS ALBERTO VELÁSQUEZ DE LEÓN, Carné No. 201230762, en el sentido se le **AUTORICE IMPRESIÓN DE LA TESIS DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**, previo a conferírsele el Título de INGENIERO CIVIL. La Coordinación Académica en base a la opinión favorable del Asesor, Comisión de Revisión y Coordinador de Carrera, **ACORDÓ: AUTORIZAR IMPRESIÓN DE LA TESIS DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA Y PUENTE VEHICULAR DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**, al estudiante: CARLOS ALBERTO VELÁSQUEZ DE LEÓN, Carné No. 201230762, previo a conferírsele el Título de INGENIERO CIVIL."

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ph.D. Robert Enrique Orozco Sánchez  
Coordinador Académico

c.c. Archivo  
RE05/46



## **DEDICATORIA.**

- A Dios:** por sus bendiciones que me ha regalado en la vida y en toda la trayectoria de mi formación académica, a él le entrego mi trabajo, sabiendo que, sin su gracia nada de esto hubiera sido posible y lograr esta meta.
- A mis padres:** por ser un gran apoyo incondicional en mi vida y por los grandes esfuerzos que realizaron para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que siempre ellos han estado presentes para apoyarme moral y económicamente.
- A mi esposa:** por estar siempre a mi lado brindándome tu apoyo, cariño y amor, gracias por ser una esposa y madre ejemplar para nuestros hijos, sin ti esto no hubiera sido posible.
- A mis hijos:** quienes me han dado la fuerza y la inspiración en mi vida y así poder lograr esta meta, hijos quiero que sepan que son y serán lo más importante en mi vida y les dedico este triunfo con la esperanza de que siempre sigan adelante y luchen por sus sueños.
- A mis hermanos:** gracias por estar siempre apoyándome, y brindarme su cariño y estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes.
- A mis abuelos:** en honor a ellos que fueron un ejemplo a seguir, gracias por los consejos, su amor y apoyo, aunque ya no estén físicamente conmigo, sus espíritus y amor continúan guiándome en cada paso de este largo camino.

**A mis docentes:** por su valiosa dedicación y apoyo durante todo el camino de la carrera y compartir sus conocimientos profesionales que fueron de gran ayuda en mi formación académico y personal.

**A mis amigos:** Por su apoyo incondicional y moral, cada uno de ustedes ha sido un pilar fundamental en este arduo proceso académico, gracias por su valiosa amistad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
OBJETIVOS .....	XXVII
JUSTIFICACIÓN .....	XXIX
<b>1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.....</b>	<b>1</b>
1.1. Referente histórico del municipio .....	2
1.2. Ubicación del municipio .....	3
1.3. Ubicación de aldea Caxaque .....	3
1.4. Localización .....	4
1.5. Clima .....	4
1.6. Colindancias .....	4
1.7. Empleos.....	5
1.8. Demografía.....	5
1.9. Transporte .....	5
1.10. Topografía del lugar .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO GENERAL.....</b>	<b>7</b>
2.1. Conceptos generales para diseño de un puente .....	7
2.1.1. Tipos de puentes .....	7

2.1.2.	Elementos estructurales .....	8
2.1.3.	Cargas estáticas y dinámicas .....	9
2.1.4.	Normas de diseños.....	10
2.1.5.	Análisis sismo resistente .....	10
2.2.	Conceptos generales para diseño de pavimento rígido.....	11
2.2.1.	Tipos de pavimentos .....	11
2.2.2.	Propiedades del pavimento .....	12
2.2.3.	Tipos de cargas.....	12
2.2.4.	Normas de diseños.....	13
2.3.	Normas y ensayos para construcción .....	14
2.3.1.	Normas ASTM.....	14
2.3.2.	Normas AASHTO .....	14
2.3.3.	Normas COGUANOR.....	15
2.4.	Método de diseño de pavimentos rígidos .....	16
2.4.1.	Método AASHTO-93.....	16
2.4.2.	Método PCA .....	17
2.5.	Criterios de diseño en puentes de concreto .....	17
2.5.1.	Normas aplicables de diseño.....	17
2.5.2.	Criterios técnicos .....	18
2.6.	Criterios de ensayos a tomar en cuenta en el diseño .....	18
2.6.1.	Ensayos Slump .....	18
2.6.2.	Ensayo de compresión de concreto.....	18
2.6.3.	Ensayo flexión .....	19
2.6.4.	Ensayos de Proctor .....	19
2.7.	Funcionalidad de los puntos .....	20

2.8.	Impactos de sismos .....	20
2.9.	Diseño de mezclas.....	20
2.9.1.	Características de agregados.....	20
2.9.2.	Agua.....	20
2.9.3.	Cemento.....	21
2.9.4.	Arena.....	21
2.9.5.	Piedrín.....	21
2.9.6.	Curado y acabado .....	21
2.9.7.	Aditivos de concreto .....	21
2.9.8.	Medidas de mitigación ambiental.....	22
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE PUENTE VEHICULAR DE LA ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.....</b>	<b>23</b>
3.1.	Definición del proyecto.....	23
3.2.	Metodología a utilizar .....	23
3.2.1.	Norma AASHTO LRFD para diseño de puentes.....	23
3.2.2.	Levantamiento topográfico .....	26
3.2.2.1.	Planimetría.....	26
3.2.2.2.	Altimetría.....	27
3.2.3.	Estudio hidrológico e hidráulico (método racional).....	27
3.2.3.1.	Coefficiente de escorrentía.....	28
3.2.3.2.	Área de la cuenca .....	29
3.2.3.3.	Caudal de diseño .....	30
3.2.4.	Ensayos o pruebas en campo y laboratorio.....	32
3.2.4.1.	Límites de Atterberg .....	32
3.2.4.2.	Tomas de muestras inalteradas con excavación .....	33

3.2.4.3. Granulometría .....	33
3.2.4.4. Porcentaje de humedad .....	34
3.2.4.5. Valor soporte .....	35
3.3. Análisis estructural .....	35
3.3.1. Análisis de cargas .....	35
3.4. Ensayo.....	37
3.4.1. Valor soporte del suelo.....	37
3.5. Programas de apoyo para el cálculo .....	39
3.5.1. Análisis en CSI BRIDGE para comportamiento de puente .....	40
3.5.2. SAFE.....	40
3.5.3. Análisis y cálculo en programa MATHCAD.....	41
3.5.4. Datos topográficos en software Excel.....	41
3.5.5. Uso de AUTOCAD Y CIVIL-3D.....	41
3.6. Consideraciones generales para el diseño del puente .....	42
3.7. Diseño de la superestructura .....	42
3.7.1. Predimensionamiento de elementos estructurales .....	43
3.7.2. Integración de cargas .....	46
3.7.3. Método Sísmico.....	50
3.7.4. Diseño de losa.....	62
3.7.5. Diseño de banquetas y baranda .....	76
3.7.6. Diseño de vigas principales .....	78
3.7.7. Diseño de diafragma interior y exterior .....	91
3.7.8. Diseño de apoyo de neopreno.....	94
3.7.9. Diseño de losa de acceso.....	107
3.8. Diseño de la subestructura .....	108

3.8.1.	Diseño de drenaje .....	108
3.8.2.	Período de diseño para puente .....	109
3.9.	Propuesta del diseño .....	109
3.9.1.	Especificaciones generales .....	110
3.9.2.	Especificaciones técnicas.....	110
3.9.3.	Elaboración de planos y detalles .....	110
3.9.4.	Presupuesto integrado .....	111
3.9.5.	Presupuesto desglosado .....	113
3.9.6.	Cronograma de actividades.....	113
<b>4.</b>	<b>DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.....</b>	<b>115</b>
4.1.	Descripción del proyecto.....	115
4.2.	Medio ambiente .....	115
4.3.	Levantamiento topográfico.....	117
4.3.1.	Planimetría .....	117
4.3.2.	Altimetría .....	118
4.4.	Ensayos o pruebas en campo y laboratorio .....	118
4.4.1.	Límites de Atterberg .....	118
4.4.2.	Tomas de muestras inalteradas con excavación .....	119
4.4.3.	Granulometría .....	119
4.4.4.	Porcentaje de humedad .....	120
4.4.5.	Ensayo de valor soporte CBR .....	120
4.4.6.	Ensayo de compactación o Proctor modificado .....	121
4.5.	Requerimientos de diseño método AASHTO 93 .....	121
4.5.1.	Tránsito promedio diario TPDA .....	122

4.5.2.	Período de diseño .....	123
4.5.3.	Factor de confiabilidad .....	124
4.5.4.	Desviación estándar normal .....	124
4.5.5.	Coeficiente de drenaje.....	125
4.5.6.	Valores de coeficiente de transmisión de cargas .....	125
4.6.	Diseño de pavimento rígido .....	126
4.6.1.	Subrasante .....	130
4.6.2.	Subbase .....	130
4.6.3.	Concreto hidráulico.....	130
4.6.4.	Capacidad diseño de velocidad en vehículos .....	131
4.6.5.	Diseño de curvas horizontales.....	132
4.6.6.	Diseño de curvas verticales.....	134
4.6.7.	Cortes de la subrasante .....	136
4.7.	Elementos de Protección .....	136
4.7.1.	Bordillos .....	136
4.7.2.	Sello de juntas.....	137
4.7.3.	Rejillas.....	138
4.7.4.	Drenajes.....	139
4.8.	Programas de apoyo para cálculo.....	139
4.8.1.	Datos topográficos en software Excel.....	139
4.8.2.	Uso de AutoCAD Y CIVIL-3D .....	140
4.9.	Propuesta del diseño .....	140
4.9.1.	Especificaciones generales .....	140
4.9.2.	Especificaciones técnicas.....	141
4.9.3.	Elaboración de planos y detalles .....	141

4.9.4. Presupuestos integrados .....	142
4.9.5. Presupuestos desglosados.....	143
4.9.6. Cronograma de actividades.....	144
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>145</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>151</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1.</b> Ubicación y Localización .....	3
<b>Figura 2.</b> Área de la cuenca .....	29
<b>Figura 3.</b> Escorrentías en la cuenca .....	30
<b>Figura 4.</b> Cota máxima de caudal.....	32
<b>Figura 5.</b> Camión de diseño HL-93.....	36
<b>Figura 6.</b> Tándem de diseño .....	36
<b>Figura 7.</b> Carril de diseño .....	37
<b>Figura 8.</b> Cargas muertas DC .....	47
<b>Figura 9.</b> Integración de cargas muertas DC .....	47
<b>Figura 10.</b> Cargas por carpeta de rodadura DW .....	48
<b>Figura 11.</b> Integración de cargas por carpeta de rodadura DW .....	48
<b>Figura 12.</b> Camión de diseño HL-93.....	48
<b>Figura 13.</b> Línea de influencia generado en SAP2000 .....	49
<b>Figura 14.</b> Cargas puntuales por carga dinámica .....	50
<b>Figura 15.</b> Mapa de zonificación sísmica.....	52
<b>Figura 16.</b> Gráfica de espectro de respuesta sísmica.....	60
<b>Figura 17.</b> Gráfica de espectro de respuesta sísmica de diseño .....	60
<b>Figura 18.</b> Momentos por carga muerta DC .....	62
<b>Figura 19.</b> Momentos por carga por carpeta de rodadura DW .....	63
<b>Figura 20.</b> Momentos generados por carga dinámica.....	64
<b>Figura 21.</b> Diseño de banquetta .....	77
<b>Figura 22.</b> Diseño de baranda.....	78

<b>Figura 23.</b> Diseño de viga interior.....	90
<b>Figura 24.</b> Diseño de viga exterior.....	90
<b>Figura 25.</b> Diseño de diafragma interior .....	92
<b>Figura 26.</b> Diseño de diafragma exterior .....	94
<b>Figura 27.</b> Curvas esfuerzo deformación.....	103
<b>Figura 28.</b> Detalle dispositivo móvil.....	106
<b>Figura 29.</b> Detalle dispositivo fijo.....	107
<b>Figura 30.</b> Drenaje en la súper estructura .....	109
<b>Figura 31.</b> Sección transversal del pavimento .....	129
<b>Figura 32.</b> Isométrico de pavimento rígido .....	129
<b>Figura 33.</b> Curva horizontal .....	133
<b>Figura 34.</b> Componentes de curva vertical .....	134
<b>Figura 35.</b> Tipos de curvas verticales .....	134
<b>Figura 36.</b> Curva vertical .....	136
<b>Figura 37.</b> Detalle de bordillo .....	137
<b>Figura 38.</b> Sello de juntas.....	138

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Combinaciones de carga .....	24
<b>Tabla 2.</b> Coeficiente de escorrentía .....	29
<b>Tabla 3.</b> Factores dependientes del ángulo .....	38
<b>Tabla 4.</b> Resultados del estudio de suelos .....	38
<b>Tabla 5.</b> Factor de presencia múltiple .....	49
<b>Tabla 6.</b> Listado de amenazas sísmicas .....	53
<b>Tabla 7.</b> Ordenadas espectrales .....	53
<b>Tabla 8.</b> Coeficientes de sitio $F_a$ .....	55
<b>Tabla 9.</b> Factor para períodos cortos de vibración $N_a$ .....	56
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes de sitio $F_v$ .....	56
<b>Tabla 11.</b> Factor para períodos cortos de vibración $N_v$ .....	57
<b>Tabla 12.</b> Factores $K_d$ según el nivel del sismo .....	58
<b>Tabla 13.</b> Combinaciones de carga .....	66
<b>Tabla 14.</b> Resumen de momentos para viga interior.....	81
<b>Tabla 15.</b> Factores de mayoración de cargas .....	82
<b>Tabla 16.</b> Propiedades del elastómero .....	97
<b>Tabla 17.</b> Deformaciones por compresión del dispositivo .....	102
<b>Tabla 18.</b> Planos constructivos puente vehicular .....	111
<b>Tabla 19.</b> Presupuesto integrado puente .....	112
<b>Tabla 20.</b> Vehículos livianos .....	122
<b>Tabla 21.</b> Vehículos livianos .....	123
<b>Tabla 22.</b> Clasificación de vehículos.....	123

<b>Tabla 23.</b> Niveles de confiabilidad para carreteras .....	124
<b>Tabla 24.</b> Desviación estándar normal.....	124
<b>Tabla 25.</b> Coeficiente de drenaje para pavimento rígido.....	125
<b>Tabla 26.</b> Valores de coeficiente de transmisión de carga .....	126
<b>Tabla 27.</b> Propiedades de los materiales.....	128
<b>Tabla 28.</b> Consideraciones de diseño.....	128
<b>Tabla 29.</b> Velocidad de diseño .....	132
<b>Tabla 30.</b> Planos constructivos pavimento rígido.....	142
<b>Tabla 31.</b> Presupuesto integrado pavimento .....	143

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Ensayo de valor soporte del suelo .....	151
<b>Anexo 2.</b> Análisis granulométrico .....	154
<b>Anexo 3.</b> Límites de consistencia de Attergber.....	156
<b>Anexo 4.</b> Relación de soporte de california (CBR) .....	157

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A, B \text{ y } n$	Parámetros de ajuste
$R$	Resistencia del suelo
$Q$	Caudal
$I$	Intensidad de lluvia
$A$	Área tributaria de la cuenca
$H$	Diferencia de altura
$C$	Cohesión
$\sigma$	Esfuerzo normal
$\varphi$	Ángulo de fricción interno
$Q_{adm}$	Capacidad admisible del suelo
$FS$	Factor de seguridad
$t$	Espesor de losa
$h_{viga}$	Altura mínima de la viga
$L$	Luz del tramo del puente
$b_{viga}$	Base de la viga
$S'$	Espacio entre ejes de vigas
$h_{diaf}$	Altura del diafragma
$\gamma_{con}$	Peso específico del concreto
$\gamma_{carp}$	Peso específico de la carpeta de rodadura
$M^+_{CM}$	Momento positivo
$M^-_{LL_{IM}}$	Momentos negativos por carga viva
$E_{pos}$	Ancho de franja para momento positivo

$W$	Carga muerta
$L_2$	Longitud del tramo interior
$h_{BR}$	Altura de aplicación para carga de frenado
$BR$	Carga de frenado
$P_{LLI}$	Carga viva
$P_{DW}$	Carga de asfalto
$\gamma_c$	Peso específico del concreto
$r$	Tasa de crecimiento
$d$	Peralte efectivo
$r$	Recubrimiento
$r_{libre}$	Recubrimiento libre
$D_{varilla}$	Diámetro de varilla
$V_{varilla}$	Número de varilla
$R$	Esfuerzo para cuantía de refuerzo
$\rho_1$	Cuantía de acero de refuerzo
$A_S$	Área de acero para diseño
$\phi$	Factor de reducción de resistencia
$b$	Longitud de análisis
$A_{S\_dis}$	Área de acero de distribución
$M_S$	Momento de franja
$M_{S\_NEG}$	Momento último por servicio
$E_S$	Módulo de elasticidad del acero
$E_c$	Módulo de elasticidad del concreto

$J_d$	Brazo entre esfuerzo de tensión y compresión
$y$	Altura para el área a compresión
$S_{max}$	Separación máxima
$C_D$	Factor para dureza 60
$\delta_{creep}$	Deflexión por creep
$\Delta_U$	Desplazamiento mayorado
$\mu$	Coeficiente de fricción que se asume entre el concreto y el elastómero
$F_f$	Fuerza de fricción que se desarrolla
$P_{AE}$	Presión estática del terreno + efecto dinámico
$EQ_{terr}$	Acción sísmica del terreno
$P_{IR}$	Fuerza inercial del estribo
$V_u$	Cortante solicitante último
$\phi_{corte}$	Coeficiente de reducción de capacidad
$d_v$	Peralte efectivo de corte
$V_c$	Resistencia nominal cortante
$V_s$	Cortante resistente del acero
$N$	Coeficiente de rugosidad
$\Lambda$	Factor nominal peso normal
$\sigma_s$	Esfuerzo
$A_{req}$	Área requerida
$W$	Ancho de viga
$\Delta_t$	Temperatura total

<b><math>\Delta_{retra}</math></b>	Deformación por retracción por fraguado
<b><math>s_i</math></b>	Factor de forma de una capa interior
<b><math>creep</math></b>	Deflexión por creep
<b><math>I_0</math></b>	Índice de sismicidad según el mapa de zonificación sísmica
<b><math>S_{cr}</math></b>	Ordenada espectral para períodos cortos
<b><math>S_{1R}</math></b>	Ordenada espectral para un periodo igual a un segundo
<b><math>T_l</math></b>	Ordenada espectral para períodos largos
<b><math>S_{cs}</math></b>	Ordenada espectral ajustada para períodos cortos
<b><math>S_{1s}</math></b>	Ordenada espectral ajustada para períodos igual a un segundo
<b><math>F_a, N_a</math></b>	Coefficientes de sitio para períodos de vibración cortos y largos
<b><math>F_v * N_v</math></b>	Coefficiente por proximidad para períodos cortos y largo

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	American Association State Highway and Transportation Officials.
<b>Acera</b>	Espacio destinado para la circulación de peatones, generalmente, construido con concreto hidráulico y malla electro-soldada.
<b>Acero de refuerzo</b>	Conjunto de varillas de acero que se requiere para reforzar un elemento estructural, con la función principal de contrarrestar los esfuerzos internos de tensión generados por la aplicación de cargas.
<b>Altimetría</b>	Es una rama de la topografía encargada de estudiar los métodos para medir la altura de los puntos y determinar la diferencia de nivel en el relieve del terreno.
<b>Aproche</b>	Se refiere a las estructuras o rellenos que conectan a la carretera con el puente.
<b>ASTM</b>	American Society For Testing and Materials
<b>Banqueta</b>	Elemento de la estructura superior de un puente, ubicado en los laterales del tablero y elevado respecto a la superficie de rodadura, exclusivo para la circulación de los peatones.
<b>Barandales</b>	Elementos de seguridad que se encuentran a los costados del puente, su función es la de canalizar el tránsito y eventualmente evitan la caída de

personas y vehículos.

**Bordillos**

Elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino, descargándola en los lavaderos, para evitar erosión a los taludes de los terraplenes que estén conformados por materialerosionable.

**Carga muerta**

Peso generado por la estructura y otros elementos que ocupan una posición permanente en ella.

**Carga viva**

Se refiere al peso de cargas que no son permanentes, que cambian de posición, como la carga vehicular y peatonal.

**Cimentación**

Elemento estructural que distribuye las cargas provenientes tanto de la superestructura como de la subestructura al suelo.

**Cota de cimentación**

Altura del suelo donde se construyen los cimientos para la estructura del puente.

**Cuerda máxima**

Es la distancia en línea recta desde el principio de curva (PC) al punto de tangencia (PT).

**Curva horizontal**

Se define como arcos de circunferencia de un solo radio que son utilizados para unir dos tangentes de un alineamiento, se debe tomar en cuenta la topografía del terreno y la velocidad de diseño.

**Curva vertical**

Curvas utilizadas para empalmar dos tramos de pendientes constantes determinadas, con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el

movimiento vertical de los vehículos; permiten la seguridad, comodidad y la mejor apariencia de la vía. Casi siempre se usan arcos parabólicos porque producen un cambio constante de la pendiente.

<b>Deslizamiento</b>	Fenómeno generado en los estribos de los puentes al ser sometidos a cargas horizontales.
<b>Diafragma</b>	Una unidad estructural que se emplea para evitar la deformación de las vigas de la superestructura de un puente.
<b>Empuje</b>	Fuerza ejercida por el suelo que desestabiliza la subestructura de un puente.
<b>Estribo</b>	Muro que soporta la superestructura y su propio peso, transmitiendo las cargas al suelo; su función principal es soportar cargas por gravedad y cargas horizontales.
<b>Excavaciones</b>	Zanjas realizadas en un terreno cuyo objetivo es retirar volúmenes de tierra u otros materiales para la colocación de cimientos o tuberías de drenaje sanitario.
<b>Factor de seguridad</b>	Factor que permite disminuir la resistencia de un elemento estructural con el fin de obtener un margen de seguridad antes de alcanzar su límite.
<b>Fuerza de sismo</b>	Carga inducida por un sismo que provoca esfuerzos en la superestructura a causa de los movimientos de la corteza terrestre.

<b>Impacto</b>	Carga generada por el impacto del camión de diseño sobre la superestructura.
<b>Losa</b>	Elemento estructural horizontal plano que soporta y transmite directamente cargas vivas, muertas o accidentales a las vigas.
<b>Luz</b>	Longitud libre de un tramo entre apoyos.
<b>Momento</b>	Magnitud resultante del producto del valor de una fuerza por su distancia a un punto de referencia.
<b>Neopreno</b>	Son elementos generalmente, en forma de prisma rectangular o de forma circular, constituidos por una capa de elastómero vulcanizado en moldes bajo presión y calor.
<b>Pavimento</b>	Capa o conjunto de capas de materiales apropiados cuyas principales funciones, son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resisten a la acción del tránsito.
<b>Puente</b>	Estructura que forma parte de caminos y carreteras, que permite el paso del tráfico de un punto a otro, salvando quebradas.
<b>Presión</b>	Fuerza aplicada en una unidad de área.
<b>Rasante</b>	Es el trazo vertical que determina el nivel superior sobre la línea central, que se proyecta al construir a

lo largo de la carretera. Muestra la elevación y la pendiente del trazo proyectado.

**Sobrecarga**

Carga adicional a la considerada por peso propio, tomándose como factor de seguridad.

**Subestructura**

Está compuesta por la losa, vigas principales, diafragmas internos y externos, barandales, y banquetas; esta es la parte superior de la estructura de un puente vehicular.

**Superestructura**

Está compuesta por los elementos estructurales que soportan el tablero del puente, como las vigas de apoyo, los estribos, los pilares intermedios, las columnas circulares y las zapatas.

**Topografía**

Ciencia que permite medir directa o indirectamente la representación gráfica del terreno y determinar las posiciones relativas de los puntos situados en la superficie terrestre.

**Valor soporte**

Es una medida de la cantidad de carga que un suelo es capaz de soportar, antes de sufrir cambios estructurales significativos. Se determina mediante ensayos de laboratorio y pruebas de campo, y se expresa como una presión estática equivalente.

**Viga**

Elemento estructural diseñado para soportar cargas verticales y transmitir los esfuerzos a través de su sección transversal, utilizado especialmente en puentes y otras estructuras.

**Volteo**

Fenómeno derivado de la aplicación de cargas horizontales a una estructura, que tiende a volcar el estribo respecto al borde exterior.

**Vía de circulación**

Proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos al desplazarse de un punto a otro.

## RESUMEN

Este proyecto implica realizar el diseño de una carretera con pavimento rígido y un puente vehicular que conduce de aldea Caxaque hacia el parque regional El Astillero, del municipio de San Marcos, departamento de San Marcos. Esto resolverá el problema de conexión entre ambos sitios, que promueve el desarrollo de la comunidad al facilitar el acceso y la movilidad de los residentes. La propuesta incluye el diseño detallado de la infraestructura vial y estructural, considerando las necesidades y especificaciones técnicas requeridas para garantizar su funcionalidad y durabilidad. A través de un análisis previo a la realización del diseño de la carretera, es importante observar el estado actual de la infraestructura en la comunidad, posterior al estudio, se propone realizar una brecha que contribuya a la movilización de los habitantes entre los dos puntos.

Se realizaron los estudios previos, tanto de suelos, como ambientales, hidrológicos, etc. Con la finalidad de planificar el diseño de la nueva apertura de carretera que favorecerá a los habitantes del lugar, contribuirá con el desarrollo integral del lugar.

Los diferentes componentes de la estructura son examinados minuciosamente para determinar el diseño más adecuado y las medidas precisas necesarias para el puente y la calle.

Durante este proceso se consideraron las condiciones específicas para llevar a cabo el levantamiento topográfico, utilizando puntos exactos para visualizar la geometría del proyecto, finalizando con proponer los elementos estructurales adecuados al requerimiento del diseño estructural con respecto al puente vehicular y los espesores adecuados de la base y subbase, así como el espesor del pavimento rígido, garantizando un diseño óptico y funcional durante su vida útil.



## INTRODUCCIÓN

Se ha realizado el diseño de una carretera y un puente vehicular para conectar la aldea Caxaque con el Parque Regional de San Marcos, departamento de San Marcos. Este proyecto busca mejorar la conexión entre ambas áreas y que ofrezca una mayor movilidad a los residentes locales, se consideraron diversos factores como el tipo de suelo, el espacio disponible, la seguridad de los usuarios y la protección del medio ambiente, el objetivo final es facilitar un transporte seguro y eficiente, además de contribuir a la calidad de vida de la comunidad.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la posibilidad técnica de establecer una conexión vial entre las dos aldeas, buscando facilitar el desplazamiento de personas y recursos, así como promover la integración entre las comunidades, se llevó a cabo diferentes análisis y evaluaciones para determinar la ubicación más adecuada para el diseño de la carretera y el puente. Asimismo, se seleccionaron las propiedades de los materiales adecuados para llevar a cabo el diseño de la infraestructura de forma óptima.

Se propone el diseño de una carretera con pavimento rígido, realizando el diseño de curvas horizontales y verticales; en el desarrollo del diseño se consideró los respectivos cortes y rellenos con respecto a la subrasante.

Es importante resaltar que para el diseño del proyecto se ha realizado investigaciones con ayuda del levantamiento topográfico y estudios de suelo tomando criterios de normas establecidas para cada uno de los diseños y para respaldar el procedimiento que se realiza en la estructura del proyecto, se detalla el procedimiento creando memorias de cálculo.



## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Elaborar el diseño geométrico de carretera y puente vehicular de la aldea Caxaque hacia el parque regional El Astillero, municipio de San Marcos, departamento de San Marcos.

### Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones del lugar por medio de estudios previos que ayude a realizar un buen diseño mejorando aspectos importantes de la infraestructura vial de la aldea Caxaque y aldea Rincón.
- Realizar el predimensionamiento adecuado de los elementos estructurales del puente vehicular para garantizar el buen funcionamiento, basándose en normas de diseño estructural.
- Realizar los estudios de suelos para la carretera y el puente vehicular que ayuden a determinar su buen funcionamiento al estar sometido a cargas externas.
- Contribuir con el desarrollo integral de las comunidades, proporcionando soluciones con la movilización vehicular de la aldea Caxaque hacia el Parque Regional El Astillero.



## **JUSTIFICACIÓN**

El diseño y construcción de una carretera y un puente vehicular entre las aldeas Caxaque y el parque regional (El Astillero) en el municipio de San Marcos, departamento de San Marcos, es una iniciativa necesaria para mejorar la movilidad y conectividad entre estas dos zonas. Este proyecto contribuiría a la reducción de la pobreza en la región al mejorar el acceso a los servicios de salud, educación y empleo, lo cual a su vez ayudaría a elevar las condiciones de vida de la población local.

Adicionalmente, la obra contribuiría a disminuir la desigualdad regional al aumentar la accesibilidad a los mercados locales y mejorar la competitividad de los productos regionales, favoreciendo así una mayor diversificación de la economía local y mejorando las condiciones de vida en general al promover el crecimiento económico y la creación de empleo.

Por último, la apertura de la carretera y el puente vehicular mejorarían la seguridad vial en la región, lo que resultaría en la reducción de los accidentes de tráfico y en una mejor movilidad para los habitantes.

Considerando que este proyecto es muy requerido en la comunidad y que no se ha considerado la importancia y valoración que representa hacia las personas de la comunidad, así como la movilización de un punto a otro, tomando en consideración que actualmente no se puede transitar por la ausencia de una brecha, promoviendo dificultad a los habitantes para desplazarse.

Razón por la cual este proyecto va enfocado a contribuir y mejorar la calidad vial entre la comunidad de la aldea Caxaque y el parque regional El Astillero.



## **1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**

El municipio de San Marcos se destaca por su amplia gama de religiones, su diversidad cultural y la práctica de diferentes deportes. A continuación, se describen detalladamente todas las características singulares de este municipio.

Una de las principales características del municipio de San Marcos es su diversidad religiosa. Aquí conviven diversas religiones como el catolicismo, el protestantismo y otros grupos religiosos menos conocidos. Esta diversidad religiosa se refleja en la gran cantidad de iglesias y centros de culto que se pueden encontrar en todo el municipio.

Otra característica distintiva de San Marcos es su rica variedad cultural. En este municipio se pueden encontrar comunidades indígenas con sus propias tradiciones y costumbres, así como descendientes de colonos europeos que han aportado su propia cultura al lugar. Esta mezcla de culturas se puede apreciar en las festividades, la música y la gastronomía local.

La práctica de diferentes deportes es otra característica destacada en San Marcos. Aquí se pueden encontrar numerosos campos deportivos y canchas en donde se practican deportes como el fútbol, el baloncesto, el voleibol y el béisbol, entre otros. Además, el municipio cuenta con diversas ligas y clubes deportivos que fomentan la participación y el desarrollo de talentos locales.

Además de estas características, el municipio de San Marcos también se destaca por su rica historia y patrimonio.

La belleza natural es otra característica distintiva de este municipio. San Marcos cuenta con diversos paisajes naturales como montañas, ríos y lagos, que ofrecen la oportunidad de disfrutar de actividades al aire libre, como el senderismo, la pesca y el campismo. Estos lugares también son importantes para la conservación de la biodiversidad y el equilibrio ecológico.

### **1.1. Referente histórico del municipio**

El municipio de San Marcos, que solía llamarse El Barrio, fue fundado en el siglo XVI. Su nombre se debe a la iglesia original que se construyó en la zona y que estaba dedicada a San Marcos Evangelista. Durante la época colonial, una parte de San Marcos formaba parte de la provincia de Quetzaltenango. Luego, el 8 de mayo de 1866, se elevó a la categoría de departamento mediante un decreto gubernativo. Finalmente, el 16 de agosto de 1898, se convirtió en la cabecera departamental del departamento.

En el año 1752, cuatro residentes del barrio de San Marcos solicitaron la creación de un ayuntamiento municipal, lo que marcó el inicio de la participación política en la zona. Dos años después, el 3 de enero de 1754, se llevaron a cabo las primeras elecciones municipales, dando lugar a la formación de la primera municipalidad.

A lo largo de los años, el departamento de San Marcos se involucró en diversos intentos y movimientos para formar el sexto estado de Guatemala. Finalmente, el 8 de mayo de 1849 se firmó un convenio en el que los territorios separados se reincorporaron a la nación guatemalteca.

## 1.2. Ubicación del municipio

El municipio de San Marcos se encuentra situado en la región suroccidental de Guatemala, en el Altiplano del país. Su cabecera municipal está localizada en las coordenadas 14°57'38" de latitud norte y 91°47'41" de longitud oeste. Se ubica a una altitud de 2,395 metros sobre el nivel del mar y se encuentra a una distancia de 252 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. (Google Earth Pro, 2022)

## 1.3. Ubicación de aldea Caxaque

A continuación, se presenta la localidad de estudio, conocida como la aldea Caxaque, San Marcos, en la cual se encuentra la propuesta de una brecha que conduce hacia el astillero municipal. (Google Earth Pro, 2022)

**Figura 1.** Ubicación y Localización



Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

#### **1.4. Localización**

El municipio de San Marcos, en el departamento homónimo de Guatemala, se encuentra ubicado en la región suroccidental del país. Tiene una extensión territorial de 121 kilómetros cuadrados y limita con varios municipios en diferentes direcciones. Al norte limita con Ixchiguán, Tejutla y Comitancillo, mientras que al sur limita con San Cristóbal Cucho, Esquipulas Palo Gordo, Nuevo Progreso y San Rafael Pie de La Cuesta. Al este colinda con San Lorenzo y San Pedro Sacatepéquez, y al oeste limita con San Pablo y Tajumulco. Todos estos municipios también forman parte del departamento de San Marcos.

#### **1.5. Clima**

El municipio de San Marcos, ubicado en el departamento del mismo nombre en Guatemala, goza de un clima templado con una temperatura media anual de 12.4 °C. Durante todo el año, las temperaturas oscilan entre un máximo de 19.0 °C y un mínimo de 5.7 °C. En cuanto a la precipitación pluvial, se registra un promedio de 2,138 milímetros al año. La temporada de lluvias suele ser de mayo a noviembre, con un total de 118 días de lluvia en ese período. La humedad relativa media se sitúa en torno al 83%.

(Weather Spark, 2022)

#### **1.6. Colindancias**

El departamento de San Marcos en Guatemala alberga el municipio de San Marcos, el cual está situado en la región suroccidental del país. Este municipio ocupa una extensión territorial de 121 kilómetros cuadrados y colinda con varios municipios en diferentes direcciones. Al norte limita con Ixchiguán, Tejutla y Comitancillo, mientras que

al sur limita con San Cristóbal Cucho, Esquipulas Palo Gordo, Nuevo Progreso y San Rafael Pie de La Cuesta. Hacia el este, se encuentra San Lorenzo y San Pedro Sacatepéquez, mientras que en el oeste colinda con San Pablo y Tajumulco. Todos estos municipios también forman parte del departamento de San Marcos.

### **1.7. Empleos**

Se encontró que la agricultura es el sector que más empleo genera en el municipio, pero estos trabajos no alcanzan para satisfacer las necesidades básicas de la población, como alimentación, salud, educación, vivienda y vestimenta. La siembra de maíz es una práctica arraigada en la cultura local. A pesar de que en muchos casos ya no es rentable, aún forma parte de la economía familiar.

### **1.8. Demografía**

De acuerdo a las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística -INE-, se estima que la población de San Marcos para el año 2018 era de 48.142 habitantes, cifra que se espera aumente alrededor de 56.300 habitantes para el año 2032. La mayoría de la población se encuentra en el rango de edad de 5 a 24 años, lo que implica un importante número de jóvenes en la localidad. Sin embargo, esto también supone un desafío para el municipio en términos de infraestructura y formación necesaria para evitar la emigración hacia otras áreas más pobladas o al extranjero. El aumento demográfico en San Marcos se refleja en una alta tasa de natalidad.

### **1.9. Transporte**

La conectividad planificada para el municipio debe asegurar un fácil transporte de personas y mercancías tanto dentro como fuera del área. Esto incluye la protección, mantenimiento y ampliación de las carreteras asfaltadas para soportar el tráfico liviano y

pesado. También es esencial invertir en las principales carreteras que conectan los centros urbanos, lo cual implica pavimentarlas y protegerlas con estructuras de contención y gaviones. Además, se deben construir puentes, gestionar adecuadamente las cunetas y garantizar una señalización adecuada en estas vías. La conectividad y accesibilidad son elementos clave para el desarrollo económico y social del municipio, ya que favorecen el comercio, el turismo y la calidad de vida de los habitantes. Por lo tanto, es necesario invertir en infraestructuras viales que permitan una movilidad fluida y segura para estimular el progreso del municipio.

#### **1.10. Topografía del lugar**

Se puede apreciar en la imagen siguiente, generada a partir de diferentes métodos interactivos para calcular las latitudes, las características topográficas del municipio de San Marcos. Estas se representan mediante colores y códigos de barras en el gráfico.

Se puede apreciar que la superficie de la ubicación del proyecto, lo cual se encuentra en la parte alta de San Marcos, presenta características montañosas.

## 2. MARCO TEÓRICO GENERAL

### 2.1. Conceptos generales para diseño de un puente

#### 2.1.1. Tipos de puentes

Según (Rodríguez, 2022) Los puentes pueden ser clasificados según: su función, materiales utilizados en su construcción, por el tipo de estructura y por su geometría en planta.

- Según su función:

Los puentes según su función se pueden clasificar en:

peatonales

carreteros

ferroviarios

acueductos y

puentes para aviones en aeropuertos.

- Según los materiales utilizados en su construcción:

Según el material utilizado en la elaboración de puentes, se pueden clasificar en:

Puentes de madera

Mampostería

Acero estructural

De sección compuesta

Concreto armado

Concreto presforzado y

Materiales compuestos como fibra de vidrio, carbón, entre otros.

- Según el tipo de estructura:

Según el tipo de estructura utilizada, se pueden clasificar en:

Puentes simplemente apoyados

Continuos

Simples de tramos continuos

Acero

Atirantados

Colgantes

Levadizos, entre otros.

- Según su geometría en planta:

Según su geometría se pueden clasificar en:

Puentes rectos

Puentes esviajados y

Puentes curvos.

### **2.1.2. Elementos estructurales**

Los elementos que componen el diseño del puente son fundamentales para su construcción, destacando la superestructura y la subestructura. La superestructura se refiere a aquellos elementos que se encuentran sobre el puente y que soportan las cargas móviles de manera horizontal.

Entre los elementos que conforman la estructura se encuentran los siguientes:

Losa

Banquetas

Barandas

Viga principal interior

Viga principal exterior

Diagrama interior

Diafragma exterior, entre otros.

Por otro lado, la subestructura se encarga de soportar las cargas distribuidas de forma horizontal mencionadas en la superestructura. En esta parte se incluye el diseño de los siguientes elementos:

Estribos

Cajuela

Aletones

### **2.1.3. Cargas estáticas y dinámicas**

Las cargas estáticas actúan sobre una estructura, también se les conoce como cargas estacionarias y tienen magnitud, dirección y un punto fijo en el tiempo que no cambia ni se modifica. También se les conoce como las cargas permanentes generadas por el peso propio de la estructura y por los elementos que forman parte de ella, como peso propio por elementos estructurales de concreto armado, por carpeta de rodadura y por cargas dinámicas generadas por los camiones o tándem de diseño proporcionado por la normativa AASHTO.

Por otro lado, las cargas externas son producidas por impactos ambientales y varían en el tiempo. Las más conocidas son las cargas sísmicas y las cargas generadas por el viento.

Las cargas sísmicas son causadas por fenómenos naturales y se tienen en cuenta las placas tectónicas que se encuentran en la corteza terrestre y están sujetas a las cimentaciones de una construcción.

Cuando ocurren movimientos sísmicos, la superficie terrestre se ve afectada y se genera vibración debido a las capas tectónicas de la tierra, lo que provoca ondas. Estas cargas horizontales generan oscilaciones en la estructura y deben ser capaces de soportar vibraciones de diferentes intensidades.

#### **2.1.4. Normas de diseños**

Estas regulaciones son esenciales para el diseño de los distintos elementos estructurales que conforman la estructura del puente vehicular, ya que les permiten crear puentes seguros y duraderos. Las normativas abarcan todos los aspectos, desde la selección de materiales hasta el mantenimiento, y proporcionan las herramientas necesarias para garantizar la calidad y estabilidad de puentes de concreto armado.

Además, estas normativas ayudan a los diseñadores a prevenir posibles problemas, como el riesgo de colapso debido a la sobrecarga o al deterioro causado por las condiciones climáticas adversas. Algunas de las regulaciones más comunes en este ámbito son: AASHTO LRDF para el diseño de puentes de concreto, el Manual de Diseño de Puentes de la Dirección General de Caminos en Lima, Perú, y AGIES NSE 5.2 para puentes de tamaño y altura limitados.

#### **2.1.5. Análisis sismo resistente**

Es fundamental tomar en consideración los efectos que se produce por la inercia del muro y la probable amplificación del empuje activo y pasivo o movilización de masas de suelo pasivas por parte de un sismo.

En caso de sismo, la presión lateral del terreno en las estructuras de retención aumenta debido a la aceleración horizontal de la masa de terreno retenida. En caso de

estructuras de retención altas ( $H > 10$  m) como es el caso de estribos, las cargas sísmicas se considera el espectro sísmico de la norma AGIES NSE 2.

## **2.2. Conceptos generales para diseño de pavimento rígido**

### **2.2.1. Tipos de pavimentos**

Los pavimentos son una parte de la infraestructura que se utiliza principalmente, para comunicar vías terrestres que conectan a comunidades compuestas por varias capas sobrepuestas sobre la superficie terrestre natural, moldeada en diferentes formas que benefician a una o varias comunidades.

El pavimento y el hormigón están hechos de materiales que mejoran la circulación de vehículos y pueden soportar una variedad de cargas, lo que permite calles mejoradas y económicas.

Pavimentos asfálticos o flexibles: la capa de rodadura visible que está compuesta por mezcla asfáltica, está sobre la capa de base y la subbase, que es de material granulado, y luego está el suelo natural conocido como subrasante, que está compactado. La capa de rodadura puede aplicarse a la capa sometidos a esfuerzos y está diseñada para soportar las condiciones naturales.

Por el contrario, la base es responsable de distribuir las cargas aplicadas a la subbase. Además de desempeñar su función de distribuir las cargas a la subrasante, la subbase también ayuda a reducir los problemas causados por las heladas.

Pavimentos de concreto o rígido: se conforma por dos tipos de capas conocidas como:

Losa de concreto realizada por cemento portland siendo la primera capa; y la base compuesta por grava, estas dos capas van sujetas en la subrasante que es el suelo natural controlado.

### **2.2.2. Propiedades del pavimento**

El pavimento debe soportar las tensiones que pueden aplicarse debido a su forma de ser moldeado en el campo donde su uso radica en elementos que se adhieren al medio ambiente. Esta es una de las principales características del pavimento.

En el diseño. El pavimento debe tener un coeficiente de fricción que permita la retención para prevenir los derrapes y una vida útil prolongada, dependiendo del mantenimiento adecuado. Por último, pero no menos importante, el pavimento debe tener un espesor adecuado para garantizar una estructura óptima.

Para que un pavimento funcione correctamente, debe tener características que lo controlen en términos de calidad y costo. El costo y la calidad del pavimento deben ir de la mano, y la construcción es simple cumpliendo con los controles necesarios para su uso. También se puede conectar con los recursos disponibles en el departamento o específicamente en el lugar donde se llevan a cabo estos proyectos.

### **2.2.3. Tipos de cargas**

- Cargas por tránsito:

Posiblemente, este factor sea el más relevante a tener en cuenta en el diseño de pavimentos. El aspecto del tránsito debe considerar tanto la disposición de las cargas o la configuración de los vehículos, como la distribución e intensidad de las cargas. Hay tres formas básicas de considerar los efectos de los vehículos: tránsito fijo, vehículo fijo y tránsitos variables.

- Tránsito fijo:

Según el criterio de tránsito fijo, toda la distribución vehicular se convierte en una carga equivalente de una sola llanta, CLLSE, la cual determina el espesor del pavimento. Por esta razón, se utiliza el método de la llanta sencilla para el diseño. Este enfoque se utiliza más en aeropuertos o en carreteras con tránsito muy pesado y de bajo volumen, y se diseña para la carga mayor que se pueda prever.

- Vehículo fijo:

El espesor del pavimento está determinado por el número de repeticiones de carga de un vehículo.

- Vehículo y tránsito variable:

Con este enfoque los vehículos y variables se toman en cuenta por separado e individualmente, para evaluar sus efectos en el futuro pavimento. Todo ello se realiza formando grupos de cargas similares, para luego determinar y sumar los efectos separados de cada grupo, tales como esfuerzos, deformaciones y deflexiones. Los enfoques mecanizados son los que utilizan este método<sup>1</sup> de transformar el tránsito, ya que se le aplican varios niveles de carga a una estructura de pavimento dada y se estudian sus respuestas.

#### **2.2.4. Normas de diseños**

El objetivo de la elaboración de las especificaciones técnicas en el proyecto de pavimento, es establecer una base sólida en la cual las personas involucradas puedan confiar y respaldarse durante el diseño y la ejecución de los proyectos. Las especificaciones de diseño permitirán conocer las normativas que se deben seguir y cumplir, creando puntos de referencia esenciales en el diseño.

La especificación contendrá pasos precisos de normas de diseño establecidas para asistir al personal y garantizar que el proceso de construcción cumpla con lo indicado en los planos presupuestarios, siendo esenciales al presentar documentación a cualquier institución.

## **2.3. Normas y ensayos para construcción**

### **2.3.1. Normas ASTM**

La normativa ASTM se refiere a los estándares desarrollados por la American Society for Testing and Materials -ASTM- para la industria de la construcción.

Estos estándares incluyen pruebas y métodos de ensayo para materiales de construcción, componentes estructurales, sistemas de construcción y técnicas de construcción.

También abarca una amplia gama de temas, como la resistencia de los materiales, las pruebas de durabilidad, la resistencia al fuego, la resistencia al viento, la resistencia sísmica, la calidad del aire interior y la eficiencia energética. Estos estándares proporcionan pautas y especificaciones que ayudan a garantizar la calidad y seguridad de las construcciones.

La normativa ASTM es utilizada para construir y evaluar la calidad de las estructuras. También es utilizada por las autoridades reguladoras y los organismos de certificación para verificar el cumplimiento de las regulaciones al momento de diseñar elementos estructurales de proyectos de obras civiles.

### **2.3.2. Normas AASHTO**

La normativa AASHTO LRFD -American Association of State Highway and Transportation Officials-Load and Resistance Factor Design- es una normativa

desarrollada por la Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte, específicamente, para el diseño de puentes y estructuras de transporte.

Se basa en el principio del diseño por factores de carga y resistencia, lo que implica considerar tanto las cargas que actúan sobre las estructuras como la capacidad de resistencia de los materiales utilizados. Este enfoque permite obtener estructuras más seguras y eficientes, al considerar de forma más realista la variabilidad de las cargas y la resistencia de los materiales.

La normativa AASHTO LRFD incluye pautas y especificaciones para el diseño de diferentes componentes estructurales, como vigas, pilares, cimentaciones, entre otros. También establece criterios para la selección de materiales, pruebas de carga, inspección y mantenimiento de puentes y estructuras de transporte.

### **2.3.3. Normas COGUANOR**

La Comisión Guatemalteca de Normas -COGUANOR- tiene como objeto desarrollar actividades de normalización que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas nacionales y elevar la calidad de los productos y servicios que dichas empresas ofertan en el mercado nacional e internacional. Su ámbito de actuación abarca todos los sectores económicos.

Las normas técnicas que elabore, publique y socialice la COGUANOR son de observancia, uso y aplicación voluntaria.

La COGUANOR principalmente se enfoca en:

Elaborar, adoptar y promover el uso de normas técnicas en el territorio nacional.

Elaborar y promover el programa anual de normalización, la transparencia, armonización y eficacia en la elaboración de normas.

Asegurar que en el proceso de elaboración de los reglamentos técnicos se utilicen las normas técnicas nacionales, regionales o internacionales.

La COGUANOR es el organismo nacional representativo de la normalización en Guatemala y es miembro pleno de la Organización Internacional de Estandarización - ISO-, por lo tanto, está autorizado para participar y ejercer su derecho a votar en cualquier comité de la ISO.

## **2.4. Método de diseño de pavimentos rígidos**

### **2.4.1. Método AASHTO-93**

Este método es ampliamente reconocido en la industria y es fundamental para el diseño de pavimentos rígidos, ya que proporciona resultados a través de un análisis. Se tiene en cuenta la confiabilidad para garantizar que la estructura del pavimento no falle, y se busca que las calles no sufran daños durante su funcionamiento, asegurando así una vía adecuada.

Se establecen parámetros mediante ecuaciones para obtener resultados de calidad en términos de serviciabilidad, teniendo en cuenta el tipo de ejes que se utilizan o transitan, lo cual es fundamental para el diseño. El método AASHTO controla los valores de referencia de tránsito mediante el módulo de rotura y el módulo elástico, utilizando valores y fórmulas específicas para su análisis.

La fórmula también considera el coeficiente de drenaje, la transferencia de carga y los espesores de losa, junto con los módulos mencionados anteriormente. Este método proporciona información sobre los materiales adecuados para su uso, con el objetivo de evitar daños.

### **2.4.2. Método PCA**

El método PCA -Pavement Classification Number- es una herramienta utilizada en el diseño de pavimento rígido para determinar el espesor y las propiedades mecánicas del concreto necesario para soportar la carga de tránsito esperada en una carretera.

El método PCA utiliza factores de equivalencia de carga -ELTs- para convertir las cargas de tránsito en un número de carga equivalente -ESALs-, que luego se utiliza para determinar el grosor del pavimento necesario. El método también tiene en cuenta el suelo subyacente, las condiciones climáticas y el tipo de tránsito para determinar las propiedades del concreto necesarias.

## **2.5. Criterios de diseño en puentes de concreto**

### **2.5.1. Normas aplicables de diseño**

La función principal de esta labor es garantizar el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos a través de pruebas o ensayos previamente realizados, con el fin de obtener resultados precisos. A partir de estos resultados, se establecen normas de construcción para la obra civil en cuestión. Este enfoque se centra en resolver los interrogantes encontrados durante el proceso de análisis de los diseños, los cuales cuentan con una estructuración detallada y precisa. Además, se dispone de un conjunto de normas que abarcan todo el campo de la ingeniería, entre las cuales se pueden mencionar las normas AGIES NSE, las ESPECIFICACIONES AASHTO PARA EL DISEÑO DE PUENTE POR EL MÉTODO LRFD y las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES.

### **2.5.2. Criterios técnicos**

Es imprescindible contar con las especificaciones de diseño en toda obra civil, ya que estas respaldan el procedimiento diseñado y ejecutado. Por esta razón, se establecen normas que fortalecen los aspectos de las especificaciones técnicas, detallando el procedimiento recomendado a seguir en cualquier trabajo realizado de manera profesional.

## **2.6. Criterios de ensayos a tomar en cuenta en el diseño**

### **2.6.1. Ensayos Slump**

Este ensayo de consistencia, también conocido como ensayo de revenimiento, ensayo de asentamiento o prueba de Slump, implica compactar una muestra de concreto fresco en un molde tronco-cónico y luego medir la caída o descenso de la mezcla después de desmoldarlo.

El comportamiento del concreto en esta prueba indica su consistencia, es decir, su capacidad para adaptarse fácilmente al encofrado o molde, manteniéndose uniforme con un mínimo de espacios vacíos.

### **2.6.2. Ensayo de compresión de concreto**

Al llevar a cabo proyectos de gran envergadura, resulta fundamental supervisar el comportamiento de la mezcla mediante el uso de una máquina de ensayos. Esta práctica se realiza con el fin de evaluar la resistencia a través de cilindros, a los cuales se les otorga un período de 28 días para que alcancen su resistencia óptima. El cilindro debe ser sometido a pruebas hasta que finalmente falle, utilizando para ello la máquina, la cual puede contar con una capacidad considerable.

### **2.6.3. Ensayo flexión**

La resistencia a la flexión del concreto es una medida de su resistencia a la tracción. Se utiliza para determinar la capacidad de una viga o losa de concreto no reforzada para resistir la falla por momento. Esta resistencia se mide aplicando cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas de sección transversal y con una luz de al menos tres veces su espesor. Se expresa como el Módulo de Rotura -MR- en libras por pulgada cuadrada -MPa- y se determina mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio). El Módulo de Rotura representa aproximadamente el 10% al 20% de la resistencia a compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

### **2.6.4. Ensayos de Proctor**

Estos ensayos se utilizan para determinar la relación entre la densidad seca y la humedad de compactación de los materiales a utilizar, tanto en explanadas en capas granulares firmes, así como referencia para el control de calidad de la compactación en la obra. A continuación, se analizará de manera concisa las características fundamentales de cada uno de estos dos ensayos. Es importante destacar que el procedimiento es esencialmente idéntico, variando únicamente algunos de los parámetros básicos con los que se lleva a cabo el ensayo, como el número de golpes, el número de capas, la energía de compactación, la capacidad del molde, entre otros.

## **2.7. Funcionalidad de los puntos**

Cada etapa llevada a cabo en el sistema constructivo será un procedimiento en el cual se examinarán todos los aspectos requeridos, siguiendo de cerca cada estudio en el cual se tomará como referencia la topografía del área, ya que estos factores son fundamentales en la investigación y proporcionarán directrices para el diseño enfocado en las necesidades y prioridades del lugar.

## **2.8. Impactos de sismos**

El departamento de San Marcos, situado en el occidente del país, es una región altamente sísmica que ha sufrido el impacto del movimiento terrestre durante muchos años. Este fenómeno ha causado daños en todo tipo de estructuras, especialmente, en aquellas que han cumplido su vida útil o que son frecuentemente afectadas por los terremotos. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo estudios que ayuden a comprender el comportamiento del suelo, su resistencia y la frecuencia de los movimientos sísmicos en la zona.

## **2.9. Diseño de mezclas**

### **2.9.1. Características de agregados**

Las características de los materiales son propiedades físicas y químicas que determinan su comportamiento y uso en diferentes aplicaciones.

### **2.9.2. Agua**

Ayuda a combinar ingredientes sólidos y líquidos de manera uniforme. Además, puede afectar la textura, la viscosidad y la reactividad de los componentes del concreto.

### **2.9.3. Cemento**

Es fundamental en el diseño de mezclas, actúa como el aglutinante principal, para unir los diferentes componentes de la misma, al mezclarse con agua, el cemento llega a un proceso de hidratación, formando una matriz sólida que une los agregados.

### **2.9.4. Arena**

Actúa como un agregado fino, que, junto con la grava, proporciona la estructura y resistencia mecánica del concreto. La arena influye en la trabajabilidad de la mezcla, facilitando su manipulación y colocación.

### **2.9.5. Piedrín**

Es esencial en el diseño de mezclas por su función como agregado grueso, proporcionando resistencia y estabilidad a la mezcla, contribuyendo a la resistencia mecánica del material final.

### **2.9.6. Curado y acabado**

Es crucial para garantizar tanto la calidad como la durabilidad de la pieza fundida, por medio del curado se tiene el control adecuado de la humedad, la temperatura y el tiempo después de la fundición, permitiendo que el material alcance su resistencia y durabilidad óptimas mediante el proceso de hidratación del cemento y demás agregados.

### **2.9.7. Aditivos de concreto**

Permiten ajustar las propiedades del concreto para adaptarse a las necesidades específicas del proyecto, mejorando aspectos como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la resistencia y la durabilidad del material.

### **2.9.8. Medidas de mitigación ambiental**

Estas medidas son esenciales para promover la sostenibilidad y minimizar el daño ambiental asociado con las actividades que se llevan a cabo durante el proyecto.

### **3. DISEÑO DE PUENTE VEHICULAR DE LA ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS**

#### **3.1. Definición del proyecto**

El objetivo del proyecto es asegurar un cruce seguro en la brecha que conecta la aldea Caxaque con El Astillero municipal de San Marcos, mejorando la accesibilidad para vehículos y peatones en el área. El puente propuesto tendrá una longitud de 12 metros y un ancho total de 7.80 metros, incluyendo barandas laterales de 0.20 metros de ancho cada una. Habrá banquetas laterales de 0.70 metros para los peatones, así como dos carriles de 3 metros cada uno para el tráfico. El puente estará compuesto por elementos estructurales, como estribos en voladizo, diafragmas internos y externos, una losa de concreto armado, vigas interiores y exteriores, dispositivos de neopreno, banquetas, barandas, carpeta de rodadura, sistema de drenaje y rellenos de aproche.

#### **3.2. Metodología a utilizar**

##### **3.2.1. Norma AASHTO LRFD para diseño de puentes**

La normativa AASHTO LRFD, que significa Diseño de Factores de Carga y Resistencia de la Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras y Transporte, es una serie de herramientas y factores utilizadas para el diseño de puentes de concreto. Se ha estado utilizando desde 1994 y se basa en la teoría de los factores de resistencia. En lugar de utilizar un enfoque tradicional basado en un factor de seguridad único, el diseño basado en factores de resistencia utiliza una combinación de cargas y factores de resistencia para determinar los requisitos de diseño presentados a continuación según la norma AASHTO LRFD:

**Tabla 1.** Combinaciones de carga

Combinación de cargas Estado límite	DC									
	DD	LL						TU		
	DW	IM						CR		
	EH	CE								
	EV	BR								
	ES	PL								
	EL	LS	WA	WS	WL	FR	SH		TG	SE
Resistencia I (a menos que se especifique lo contrario)	$\gamma_p$	1,75	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Resistencia II	$\gamma_p$	1.35	1.00	-	-	1.00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Resistencia III	$\gamma_p$	-	1.00	1.4	-	1.00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Resistencia IV – Sólo EH, EV, ES, DW, DC	$\gamma_p$ 1.5	-	1.00	-	-	1.00	0,50/1,20		-	-
Resistencia V	$\gamma_p$	1.35	1.00	0.4	1	1.00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Evento extremo I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1.00	-	-	1.00	-		-	-
Evento extremo II	$\gamma_p$	0.5	1.00	-	-	1.00	-		-	-
Servicio I	1.00	1	1.00	0.3	1	1.00	100/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Servicio II	1.00	1.3	1.00	-	-	1.00	100/1,20		-	-
Servicio III	1.00	0.8	1.00	-	-	1.00	100/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.7	-	1.00	100/1,20		-	-
Fatiga - Sólo LL, IM y CE	-	0.75	-	-	-	-	-		-	-

Fuente: Normas de Seguridad Estructural (AGIES NSE 5.2, 2018)

En la tabla anterior se presenta las distintas combinaciones de cargas utilizadas para el diseño de los elementos estructurales del puente vehicular, proporcionada por normativa AASHTO LRFD, adaptado a las normas AGIES de Guatemala.

Incluye una variedad de aspectos importantes para tener en cuenta al diseñar puentes de concreto. Estos aspectos incluyen cargas que actúan sobre el puente, como el tráfico de vehículos, las cargas de viento y las cargas sísmicas. También se consideran factores de resistencia relacionados con los materiales utilizados en el puente, como el concreto y el acero. Estos factores de resistencia se basan en pruebas y estudios de laboratorio para garantizar que los materiales cumplan con los estándares de resistencia requeridos.

También proporciona factores para el diseño de elementos estructurales específicos, como estribos, diafragmas, losas, vigas y sistemas de drenaje.

Estos factores aseguran que los elementos estructurales sean lo suficientemente fuertes y duraderos para soportar las cargas y resistir los factores ambientales, como la corrosión causada por la exposición al agua y al aire.

Se prestan especial atención a los puntos críticos de carga, como los apoyos y las juntas de expansión, para garantizar su estabilidad y resistencia a largo plazo.

Además del diseño estructural, la norma AASHTO LRFD también aborda otros aspectos del diseño de puentes de concreto, como la accesibilidad y seguridad para los usuarios. Estos incluyen el diseño de banquetas para peatones, carriles para vehículos y sistemas de iluminación. También se consideran las necesidades de drenaje.

### **3.2.2. Levantamiento topográfico**

La realización de un estudio topográfico es esencial en el proceso de diseño de cualquier puente. Este estudio permite obtener mediciones precisas de la superficie del terreno y cualquier cambio de nivel que pueda existir. Se lleva a cabo mediante técnicas de planimetría y altimetría.

El objetivo principal de realizar un estudio topográfico en el diseño de un puente, es obtener información precisa sobre las características del terreno. Esto es especialmente importante debido a que las condiciones del terreno pueden influir en el diseño y la construcción del puente, así como en la elección de los materiales adecuados.

Por ejemplo, si el terreno presenta pendientes pronunciadas o cambios bruscos de nivel, es posible que se requieran pilotes o cimentaciones especiales para garantizar la estabilidad y resistencia del puente. Además, el conocimiento de la topografía del terreno permite determinar el trazado más adecuado para el puente, teniendo en cuenta aspectos como el impacto ambiental y la longitud total del puente.

#### **3.2.2.1. Planimetría**

La planimetría consiste en obtener la representación gráfica de un terreno en dos dimensiones, es decir, en un plano horizontal. Durante el estudio topográfico se utilizan herramientas como el teodolito, que permite medir ángulos horizontales y verticales, y la estación total, que combina teodolito y distanciómetro para obtener mediciones más precisas. Estas mediciones se realizan tomando puntos de referencia en el terreno y midiendo los ángulos y distancias entre ellos.

### **3.2.2.2. Altimetría**

La altimetría, por otro lado, se encarga de medir la altura o desnivel de un terreno en relación a un nivel de referencia. Para ello se utilizan herramientas como el nivel topográfico o el GPS. Estas herramientas permiten medir la elevación del terreno en diferentes puntos, generando así un perfil altimétrico que muestra los cambios de nivel a lo largo de la ruta del puente.

### **3.2.3. Estudio hidrológico e hidráulico (método racional)**

El estudio hidrológico se encarga de analizar las características y el comportamiento del agua en el área de influencia del puente. Esto incluye el análisis de las precipitaciones, el caudal y el régimen de los cuerpos de agua, así como la identificación de posibles zonas de inundación.

El estudio hidráulico, por su parte, se encarga de determinar las condiciones hidráulicas en el área del puente, como la velocidad y el caudal máximo del agua, así como la altura de inundación máxima. Esto es fundamental para determinar el tamaño de los estribos del puente y cimientos, para garantizar su estabilidad y resistencia.

Para realizar el estudio hidrológico e hidráulico, se utilizan diferentes métodos y modelos matemáticos. Uno de los métodos más comunes es el método racional, que es ampliamente utilizado para el diseño de subestructuras del puente, tales como los estribos.

El método racional se emplea para calcular el caudal máximo causado por el agua acumulada en la cuenca hidrográfica. Esto ocurre durante períodos de invierno, cuando se produce la precipitación máxima. Este método toma en cuenta varios factores de la

cuenca y del lugar, como el área de la cuenca, la intensidad de la lluvia y el coeficiente de escorrentía, para determinar el caudal de diseño.

Para el cálculo del caudal de diseño utilizado en el diseño del puente vehicular, se determina mediante la ecuación general involucrando factores, como:

Coeficiente de escorrentía

Intensidad de lluvia máxima

Área de la cuenca

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q Caudal de diseño influyente bajo el puente ( $m^3/seg$ )

C Coeficiente de escorrentía

I Intensidad de lluvia ( $mm/h$ )

A Área tributaria de la cuenca influyente (Ha)

### 3.2.3.1. Coeficiente de escorrentía

La siguiente tabla incluye diferentes valores de coeficiente de escorrentía que se utilizan como referencia.

En este caso por tratarse de una brecha y tener mucha influencia de área boscosa, se determinó que el coeficiente de escorrentía es de 0.52, considerando un período de retorno de 100 años y teniendo en cuenta las características de la cuenca, las cuales superan el 7% de porcentaje correspondiente.

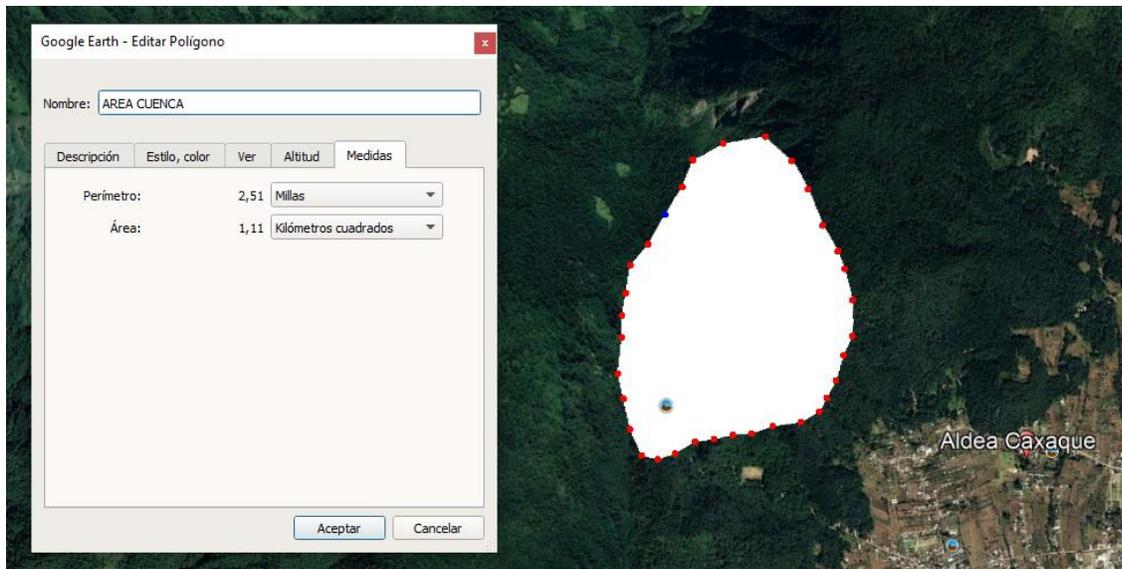
**Tabla 2.** Coeficiente de escorrentía

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
Área de cultivo							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Coeficientes de escorrentía Maidment, & Mays (1994)

### 3.2.3.2. Área de la cuenca

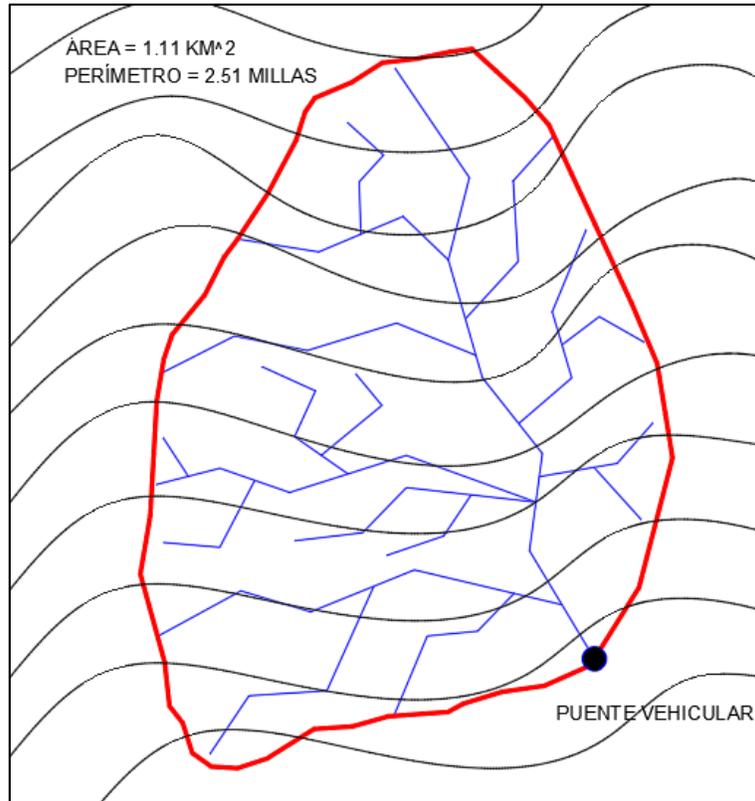
**Figura 2.** Área de la cuenca



Fuente: Elaboración propia con Google Earth Pro.

Para determinar el área de la cuenca hidrológica de estudio, se hizo uso del programa Google Earth Pro para delimitar el área y el perímetro influente.

**Figura 3.** Escorrentías en la cuenca



Fuente: Elaboración propia con Global Mapper.

De la imagen anterior se puede observar el área y el perímetro de la cuenca que aporta caudal por medio de las diferentes escorrentías generadas hacia el puente vehicular.

### 3.2.3.3. Caudal de diseño

Debido a las condiciones del área que se está analizando, no hay afluentes significativos, solo se generan corrientes a partir de la lluvia. Cuando no llueve, el río queda completamente seco. Para diseñar la sección transversal del río, se utilizará la precipitación máxima registrada en años anteriores.

- Intensidad de lluvia:

Los datos a utilizar para determinar el valor de intensidad de lluvia máxima registrada en los últimos años, son proporcionados por la estación meteorológica, INSIVUMEH, ya que es la entidad que proporciona validés y respaldo en precipitación máxima en el departamento de San Marcos.

$$I=266 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

Resumen de datos:

Donde:

I Intensidad de lluvia (mm/h)

- Cálculo del caudal de diseño

Para el cálculo del caudal se consideran los datos anteriores con un coeficiente de escorrentía  $C= 0.52$ , la intensidad de lluvia  $I=266 \text{ mm/h}$ , con un área de la cuenca  $A=1.11 \text{ km}^2=111 \text{ Ha}$ .

$$Q= \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

$$Q= \frac{0.52 \cdot 266 \cdot 111}{360} = 42.65 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

El caudal demandado por la cuenca es de 42.65 metros cúbicos por segundo.

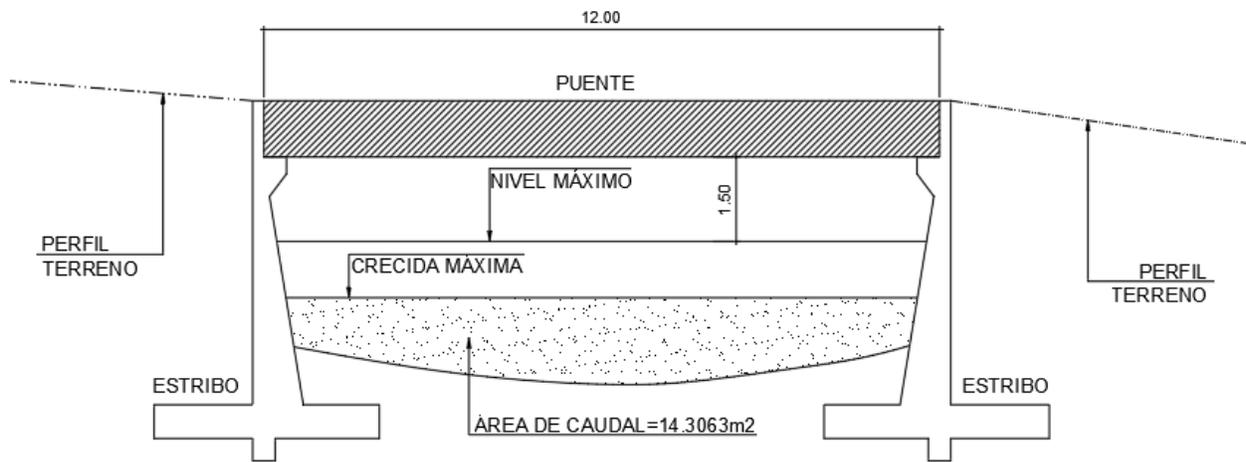
La velocidad permitida para el caudal de crecida máxima, de acuerdo con la norma AASHTO, es de 3 m/seg a 5 m/seg. Además, como medida de seguridad, se debe dejar una altura mínima de 1.5 metros desde la cara inferior de la viga hasta la cota de la crecida máxima. Con esta altura, la parte más baja del lecho se encuentra a una distancia de 1.50 metros de la crecida máxima, por lo que se encuentra por debajo de la cota máxima permitida por razones de seguridad.

Para determinar si se está en el rango de seguridad de la velocidad, se realiza el siguiente procedimiento:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{42.65}{14.3063} = 2.98 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Del procedimiento anterior se puede observar que si cumple con las condiciones de velocidad en el cauce por debajo del puente.

**Figura 4.** Cota máxima de caudal



Fuente: Elaboración propia con AutoCAD 2017.

### 3.2.4. Ensayos o pruebas en campo y laboratorio

#### 3.2.4.1. Límites de Attergber

Es una técnica utilizada en la ingeniería para determinar las propiedades del suelo y su comportamiento frente a la humedad.

Los límites de Attergber describen los diferentes estados de consistencia de un suelo en función de su contenido de humedad. Estos límites se establecen mediante una serie de ensayos en los que se determina la cantidad de agua necesaria para modificar las características del suelo.

Los límites de Attergber más comúnmente utilizados, son:

Límite líquido: es el contenido de humedad a partir del cual el suelo pasa de ser plástico a líquido. Se determina mediante el ensayo de caída de cono o el ensayo de la copa de Casagrande. Este límite es importante para evaluar la plasticidad del suelo y su capacidad de cambiar de forma sin romperse.

Límite plástico: es el contenido de humedad a partir del cual el suelo puede ser moldeado en forma de hilos sin romperse. Se determina mediante el ensayo de la rodilla de corte o el ensayo de la caja de flujo. Este límite indica la cohesión y la plasticidad del suelo.

En anexos se proporciona el estudio de suelos que involucra el ensayo de límites de Attergber, incluyendo el procedimiento y la consistencia del suelo.

#### **3.2.4.2. Tomas de muestras inalteradas con excavación**

En el caso de la toma de muestras inalteradas con excavación, se busca obtener una muestra del suelo que sea representativa de las características y propiedades del suelo in situ. Esto se logra al extraer una porción del suelo de forma cuidadosa y sin alterar sus propiedades físicas o mecánicas.

Para la toma de muestra, se excavó a una profundidad de un metro, y se cumplieron todos los pasos necesarios proporcionados por la normativa para garantizar que la muestra tenga las mejores condiciones antes de ser analizada.

#### **3.2.4.3. Granulometría**

Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el método de tamizado. En este método, la muestra se pasa por una serie de tamices de diferentes aberturas de malla. Cada tamiz

retiene las partículas de cierto tamaño, mientras que las partículas más pequeñas pasan a través de las aberturas.

Una vez que se tamizó toda la muestra, se pesó el material retenido en cada tamiz. Luego, se calculó el porcentaje de material retenido en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra. Con esta información, se pudo determinar la distribución de las diferentes tallas de partículas presentes en la muestra.

A través de este análisis se puede determinar la distribución de las diferentes tallas de partículas presentes en una muestra de suelo, lo que proporciona información sobre sus propiedades y comportamiento bajo diferentes condiciones.

Según el sistema SUCS, el suelo se encuentra en una clasificación SW con las características de Arenas bien gradadas.

Según el sistema AASHTO, el suelo se encuentra en una clasificación A1-B (0) con las características de Arenas con partículas finas de granulometrías bien definidas.

#### **3.2.4.4. Porcentaje de humedad**

El análisis de humedad en los suelos generalmente, se realiza mediante la pérdida de peso de una muestra de suelo después de secarla en un horno a una temperatura específica. Este proceso permite determinar la cantidad de agua presente en la muestra y calcular su porcentaje de humedad.

Además, el porcentaje de humedad en los suelos puede variar en función de diferentes factores, como las condiciones climáticas, el tipo de suelo, el uso y manejo de la tierra, entre otros. Por lo tanto, se realizó un muestreo y se realizó el análisis de humedad para la muestra de suelo.

Según el estudio de suelos realizado se determinó que el porcentaje de humedad es de 15.79%.

#### **3.2.4.5. Valor soporte**

El valor de soporte del suelo se utiliza principalmente en el campo de la ingeniería civil y geotecnia. Se refiere a la capacidad del suelo para soportar cargas y transmitir esas cargas a las estructuras que se construyen sobre él.

El valor de soporte del suelo es fundamental en el diseño de puentes. Al determinar el valor de soporte del suelo, se puede evaluar si el suelo es lo suficientemente resistente como para soportar las cargas por peso propio, por carpeta de rodadura, cargas dinámicas y por cargas externas provocadas por sismo.

En el ensayo de laboratorio se determinó un valor soporte del suelo de 19.06 ton/m<sup>2</sup>.

### **3.3. Análisis estructural**

#### **3.3.1. Análisis de cargas**

Existen diversas categorías de cargas en los puentes, como las cargas permanentes, las sobrecargas vivas, las fuerzas centrífugas y de frenado, las cargas en veredas, barandas y sardineles, las fuerzas de impacto de vehículos, las cargas hidráulicas, las cargas de viento, los efectos sísmicos, las deformaciones superpuestas y el empuje del suelo.

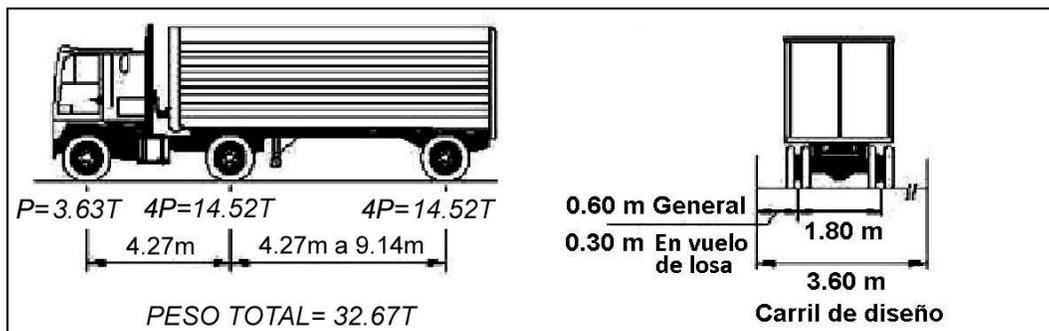
De acuerdo con la especificación AASHTO (LRFD) en el artículo (3.6.1.2), se establecen los vehículos de diseño que representan las cargas vivas a las que un puente estará sometido. Los automóviles y vehículos livianos no generan demandas

significativas en los puentes, ya que los camiones son los que producen esfuerzos considerables.

A continuación, se presenta el vehículo de diseño HL-93 de AASHTO, que representa de manera más precisa los esfuerzos máximos generados por el paso de diferentes tipos de camiones reales en las carreteras.

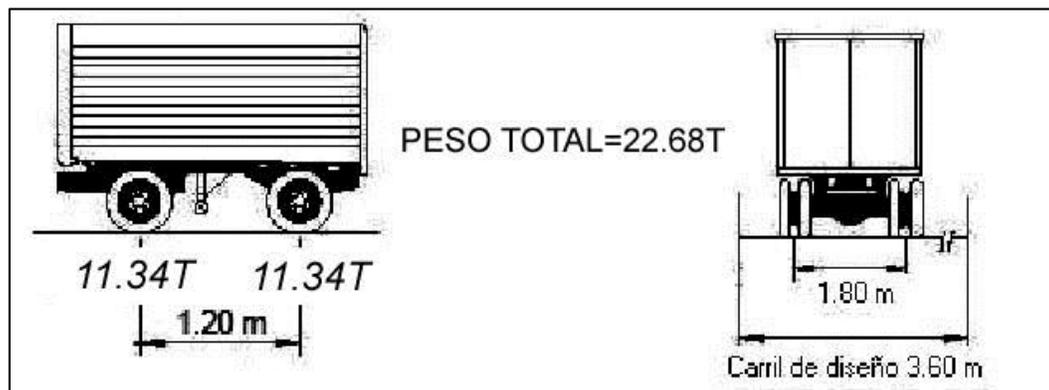
Para el diseño se considera el camión HL-93 proporcionado por la norma AASHTO, ya que es el que presenta mejores características para poder ser modelado.

**Figura 5.** Camión de diseño HL-93



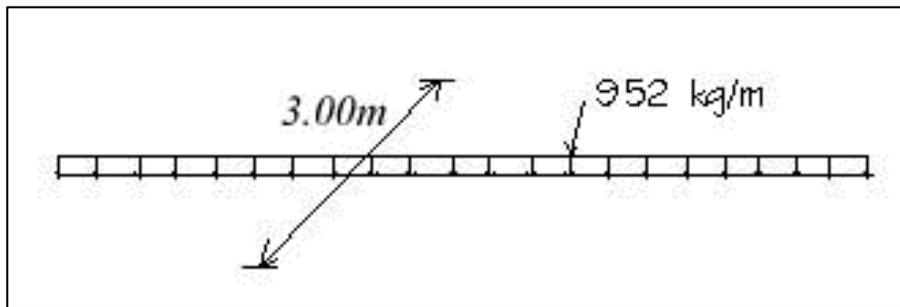
Fuente: Ing. Arturo Rodríguez Serquén (2022)

**Figura 6.** Tándem de diseño



Fuente: Ing. Arturo Rodríguez Serquén (2022)

**Figura 7.** Carril de diseño



Fuente: Puentes, Ing. Arturo Rodríguez Serquén (2022)

Según la normativa AASHTO (LRFD) en su artículo (3.6.1.3), la carga vehicular de diseño se define como una combinación de un camión de diseño o un tándem de diseño, junto con la carga de carril de diseño.

### **3.4. Ensayo**

#### **3.4.1. Valor soporte del suelo**

Las cargas de la estructura se transmitirán al suelo y es fundamental conocer las propiedades del suelo. Para el diseño del puente, se tomó una muestra de suelo inalterada a una profundidad de 1.00 m y se realizaron pruebas de compresión triaxial, granulometría y límites de Atterberg para determinar el tipo de suelo y sus características.

Para determinar el valor de soporte del suelo, se utilizarán las ecuaciones de la Teoría de Terzaghi utilizando los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial para cimentaciones rectangulares.

En la tabla siguiente, se muestran los resultados obtenidos por los ensayos realizados por parte del laboratorio CIVDO:

**Tabla 3.** Factores dependientes del ángulo

CÁLCULOS	
Factores dependientes del ángulo de fricción interna	
Factor de cohesión, Nc	6.7714
Factor de sobrecarga, Nq	2.6733
Factor de piso, Ny	3.7215

Fuente: Laboratorio de suelos CIVDO, realizado en octubre de 2023.

**Tabla 4.** Resultados del estudio de suelos

DATOS	
Profundidad de desplante	1.00 m
Peso volumétrico del suelo	1.55 $\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$
Cohesión	3.71 $\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$
Ángulo de fricción interno	26.30°
Factor de seguridad	3

Fuente: Laboratorio de suelos CIVDO, realizado en octubre de 2023.

Para el diseño es importante calcular el ángulo de fricción interno en radianes por efectos de fórmulas:

$$\varnothing_{\text{rad}} = \frac{\varnothing \cdot \pi}{180}$$

$$\varnothing_{\text{rad}} = \frac{26.30^\circ \cdot \pi}{180} = 0.459 \text{ rad}$$

Factores de flujo de carga:

Para los factores de flujo de carga se hizo uso de las fórmulas proporcionadas por Terzaghi, cumpliendo con el requerimiento necesario para realizar los cálculos y obtener los siguientes valores:

$$N_c=6.7714$$

$$N_q=2.6733$$

$$N_\gamma=3.7215$$

Capacidad de carga última:

Utilizando las ecuaciones proporcionadas por Terzaghi es posible determinar el valor de carga última presentado a continuación:

$$q_c=48.26 \text{ Ton/m}^2$$

Capacidad de carga admisible:

Utilizando las ecuaciones proporcionadas por Terzaghi, es posible determinar el valor de carga última con un factor de seguridad igual a 3, presentado a continuación:

$$FS=3$$

$$q_a=16.09 \text{ Ton/m}^2$$

### **3.5. Programas de apoyo para el cálculo**

Para optimizar el proceso de diseño del puente, se pueden utilizar programas informáticos que faciliten los cálculos necesarios. Estos programas permiten comparar tanto la superestructura como la subestructura del puente, y también extraer datos importantes para la construcción. Algunos de los programas comúnmente utilizados en estos cálculos, son:

### **3.5.1. Análisis en CSI BRIDGE para comportamiento de puente**

Uno de los programas más destacados es el software de modelado en 3D, que permite ingresar los componentes y dimensiones del proyecto para crear una representación virtual del puente. A partir de esta representación, se pueden analizar diferentes aspectos del puente, como su comportamiento ante diferentes cargas. El programa genera datos como momentos, cortantes, deflexiones, deformaciones y reacciones, que son fundamentales para evaluar la resistencia y estabilidad del puente.

Además de realizar los cálculos necesarios, el programa también incluye listas de comandos que simplifican y agilizan el proceso de modelado de la estructura del puente. Esto hace que el uso del programa sea más intuitivo y eficiente, y aumenta la productividad del diseñador o ingeniero a cargo del proyecto. En resumen, esta herramienta informática se convierte en una herramienta imprescindible para el diseño y análisis de puentes, brindando una solución integral y precisa para garantizar la seguridad y funcionamiento del puente.

### **3.5.2. SAFE**

El programa proporciona una solución integral para el diseño de diferentes tipos de zapatas y también analiza su interacción con el suelo. Al comenzar, se deben ingresar las propiedades necesarias de la zapata y se realiza un predimensionamiento manual. El software permite mostrar las deformaciones y los esfuerzos del suelo, y también sugiere la cantidad de acero requerida de forma manual o personalizada.

Cuando se ingresa la cantidad de acero en el modelo de la zapata, el programa ofrece información sobre si el acero propuesto cumple con el área en relación a los momentos. En resumen, este programa permite diseñar zapatas de manera eficiente,

analizar su comportamiento y asegurar que cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad.

### **3.5.3. Análisis y cálculo en programa MATHCAD**

Esta herramienta de trabajo es esencial para simplificar los cálculos matemáticos manuales necesarios en diversos análisis. El software se encarga de diseñar tanto la estructura principal como la subestructura del puente, ofreciendo una memoria de cálculo que permite analizar el comportamiento de cada diseño y reflejar los datos calculados obtenidos.

### **3.5.4. Datos topográficos en software Excel**

Excel es una herramienta muy útil para procesar los datos recolectados durante un levantamiento topográfico.

En el diseño del puente vehicular, se puede usar Excel para ingresar los datos obtenidos con una estación total y realizar cálculos utilizando las fórmulas y ecuaciones matemáticas para el proceso iterativo en líneas de influencia, y diferentes características que ofrece el programa.

### **3.5.5. Uso de AUTOCAD Y CIVIL-3D**

El objetivo de utilizar este software es para presentar dibujos precisos con sus respectivas medidas utilizando cálculos matemáticos, lo cual es comúnmente utilizado en el campo de la ingeniería. Este programa simplifica el proceso de presentar dibujos al trabajar con escalas de medición conocidas. AutoCAD permite organizar las medidas deseadas mediante la creación de puntos topográficos y visualizar la geometría a través de las coordenadas cartesianas.

Civil-3D tiene la capacidad de utilizar diversas funciones para realizar un modelado de la superficie del suelo mediante un levantamiento topográfico. Esto permite visualizar las coordenadas X, Y y Z para representar las variaciones en la altitud del terreno analizado.

### **3.6. Consideraciones generales para el diseño del puente**

Al diseñar un puente, se deben tener en cuenta varios aspectos para garantizar su seguridad y funcionalidad. A continuación, se presentan algunas consideraciones generales para el diseño de un puente:

**Carga y resistencia:** se debe determinar las cargas que el puente debe soportar, como el peso de los vehículos y peatones, las fuerzas del viento y las fuerzas sísmicas. Además, se debe calcular la capacidad de carga y la resistencia del puente para garantizar que pueda soportar estas cargas.

**Geometría y alineación:** la geometría del puente, incluyendo la altura, la longitud y la inclinación, debe ser adecuada para permitir un flujo seguro y eficiente del tráfico. La alineación del puente también debe tener en cuenta las características del terreno y las restricciones topográficas.

**Materiales y construcción:** los materiales utilizados en la construcción del puente deben ser duraderos, resistentes y económicos. Los materiales comunes utilizados en puentes incluyen acero, concreto y madera.

### **3.7. Diseño de la superestructura**

Se tuvieron en cuenta todos los componentes estructurales para diseñar la parte superior de la estructura, incluyendo el predimensionamiento, la distribución de cargas, un análisis sísmico, el diseño de la losa, las vigas, los diagramas, entre otros aspectos.

### 3.7.1. Predimensionamiento de elementos estructurales

De acuerdo con las pautas establecidas por la norma AASHTO, se requiere realizar una reevaluación de los elementos estructurales para determinar las dimensiones apropiadas de la superestructura del puente, tales como vigas, losas y los diafragmas.

- Vigas:

El ancho total del puente es de 7.80m, ya que consta de dos carriles de 3.00m cada uno, una banqueta libre de 0.70m y una baranda de 0.20m en cada lado. Para garantizar la resistencia y estabilidad de la estructura, se utilizarán dos vigas interiores y dos vigas exteriores cuyas dimensiones, tanto la altura como el ancho, serán calculadas de acuerdo a las ecuaciones establecidas por la norma AASHTO en la tabla 2.5.2.6.3-1.

$$h_{\text{viga}} = 7\% * L$$

$$h_{\text{viga}} = 0.07 * 12 = 0.84 \text{ m}$$

$$h_{\text{viga}} = 0.90 \text{ m}$$

Para asegurar la resistencia y estabilidad del puente, se ha determinado que la altura de la viga debe ser de 90cm, lo cual excede el mínimo requerido según lo establecido en la norma AASHTO.

Para saber la base de la viga se realiza un cálculo utilizando la fórmula determinada por la norma AASHTO para establecer la base mínima requerida.

$$b_{v\_mín} = 0.0157 * \sqrt{S' * L}$$

$$b_{v\_mín} = 0.0157 * \sqrt{2.10 * 12} = 0.273 \text{ m}$$

La base de la viga de 30 cm se define a través de un proceso constructivo que cumple con los estándares mínimos estipulados en la norma aplicable.

$$b_v = 0.30 \text{ m}$$

Donde:

$b_{v\_mín}$	Base mínima de viga (m)
$S'$	Espacio entre ejes de vigas (m)
$h_{viga}$	Altura de la viga (m)
$L$	Luz del tramo del puente (m)
$b_v$	Base de la viga (m)

- Losa:

Según las regulaciones establecidas en el artículo 8.9.2 de la normativa AASHTO, se determina el espesor mínimo de la losa del puente reforzado en dirección perpendicular al flujo de tráfico, en casos de tramos continuos simplemente apoyados, a través de la siguiente fórmula de cálculo:

$$t_{mínimo} = \frac{S_L + 3}{30}$$

$$t_{voladizo} = 0.20 \text{ m}$$

De las fórmulas anteriores, se determinan dos valores para espesores de losa, según la norma AASHTO en su tabla 2.5.2.6.3-1.

Calculando el valor del espesor mínimo se obtiene el siguiente resultado:

$$t_{mínimo} = \frac{1.80 + 3}{30} = 0.16 \text{ m}$$

Se define como espesor de losa uniforme al espesor del voladizo, con el fin de facilitar el trabajo en la construcción.

$$t = 0.20 \text{ m}$$

Donde:

$t_{mínimo}$	Espesor mínimo de losa (m)
$t_{voladizo}$	Espesor mínimo de losa en voladizo (m)

- $S_L$  Espacio libre entre vigas (m)
- $t$  Espesor de losa de diseño (m).

- Diafragmas:

Con el objetivo de disminuir las vibraciones y prevenir daños provocados por la separación de los elementos de la estructura del puente, se incluirá un diafragma interno y dos diafragmas externos en el diseño de la estructura. Los diafragmas utilizados dependen de la altura de la viga principal.

- Diafragma interior

$$h_{\text{diaf\_in}} = \frac{3}{4} * h_{\text{viga}}$$

$$h_{\text{diaf\_in}} = \frac{3}{4} * 0.90 = 0.675 \text{ m}$$

$$h_{\text{diaf\_in}} = 0.70 \text{ m}$$

Por proceso constructivo se aproxima la altura del diafragma interior de 70cm.

- Diafragma exterior

$$h_{\text{diaf\_ex}} = \frac{h_{\text{viga}}}{2}$$

$$h_{\text{diaf\_ex}} = \frac{0.90}{2} = 0.45 \text{ m}$$

$$h_{\text{diaf\_ex}} = 0.50 \text{ m}$$

Donde:

$h_{\text{diaf\_in}}$  Altura del diafragma interior (m)

$h_{\text{diaf\_ex}}$  Altura del diafragma exterior (m)

Por proceso constructivo se aproxima la altura del diafragma exterior de 50cm.

### 3.7.2. Integración de cargas

- Cálculo de carga muerta DC:

Para la carga estática se toma en cuenta el peso natural de la losa, el peso de la unidad adicional de las banquetas y las barandillas.

$$W_{\text{llosa}} = \gamma_{\text{con}} * b_{\text{uni}} * t$$

$$W_{\text{llosa}} = 2400 * 1.00 * 0.20 = 480 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{banqueta}} = \gamma_{\text{con}} * b_{\text{ban}} * h_{\text{ban}}$$

$$W_{\text{banqueta}} = 2400 * 0.90 * 0.20 = 432 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{baranda}} = \frac{\gamma_{\text{con}} * b_{\text{baran}}^2 * h_{\text{baran}}}{1\text{m}}$$

$$W_{\text{baranda}} = \frac{2400 * (0.20)^2 * 1.10}{1\text{m}} = 105.6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

- Cálculo de carga por carpeta de rodadura:

Se considera la carga por carpeta de rodadura mediante la siguiente ecuación:

$$W_{\text{carp}} = \gamma_{\text{carp}} * b_{\text{uni}} * t_{\text{carp}}$$

$$W_{\text{carp}} = 2240 * 1 * 0.05 = 112 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

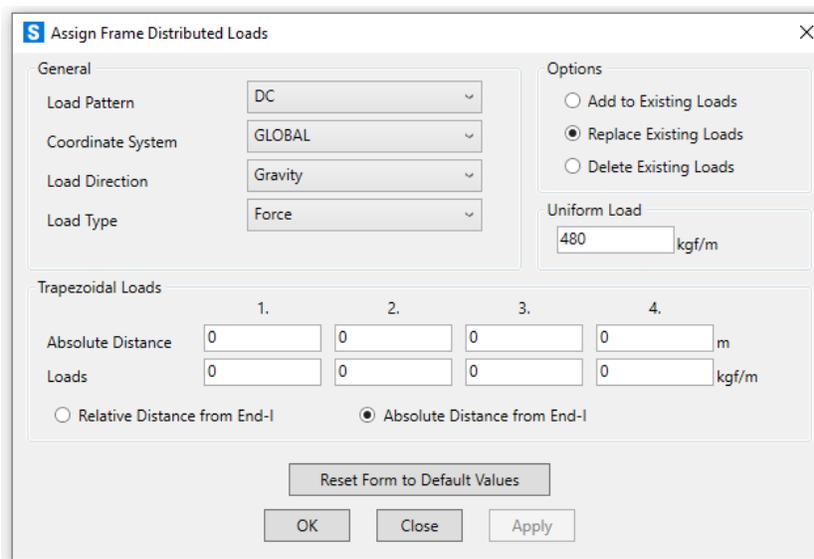
Donde:

$\gamma_{\text{con}}$	Peso específico del concreto
$b_{\text{uni}}$	Base unitaria de cada elemento
$\gamma_{\text{carp}}$	Peso específico de carpeta de rodadura
$b_{\text{uni}}$	Base unitaria de cada elemento
$t_{\text{carp}}$	Espesor de la carpeta de rodadura (m)

Antes de realizar la extracción de momentos, se lleva a cabo la integración de cargas, considerando la carga muerta, la carga por carpeta de rodadura y la carga dinámica provocada por el camión de diseño. Debido a la complejidad del cálculo en un sistema de losas continuas, se emplea el software de diseño SAP 2000.

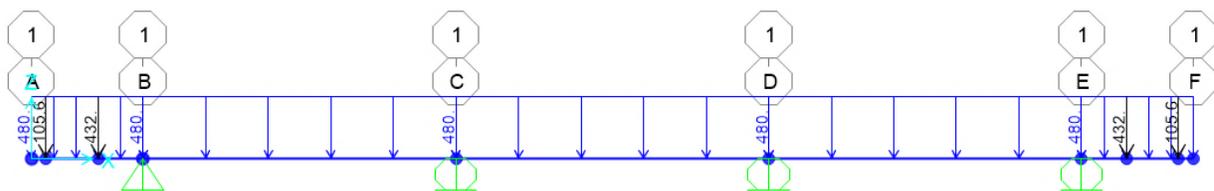
Para determinar los momentos positivos y negativos en el cálculo de cargas muertas, se utiliza la herramienta de software SAP2000.

**Figura 8.** Cargas muertas DC



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

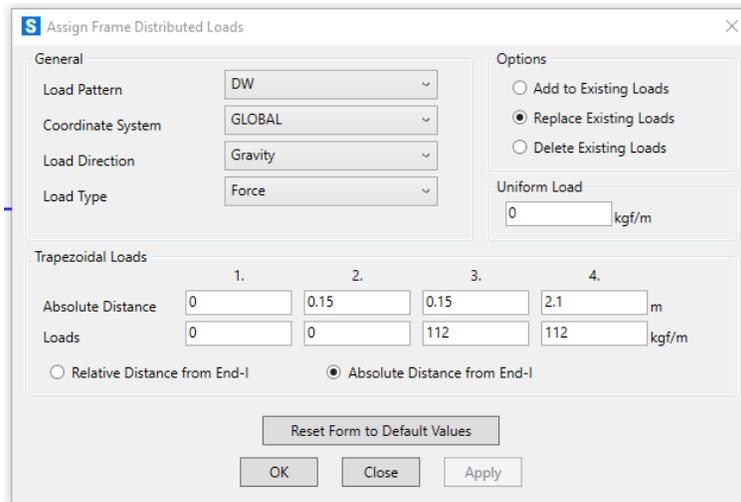
**Figura 9.** Integración de cargas muertas DC



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

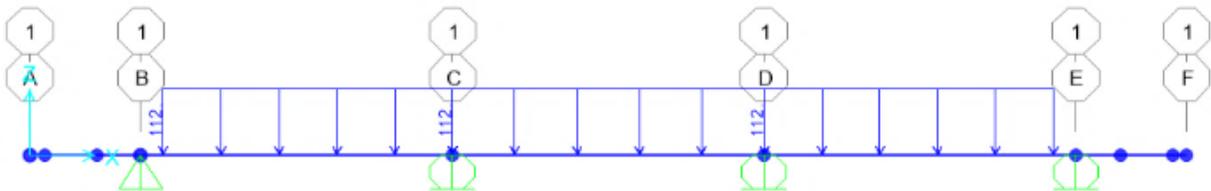
Para determinar los momentos positivos y negativos en el cálculo de cargas por carpeta de rodadura, se utiliza la herramienta de software SAP2000.

**Figura 10.** Cargas por carpeta de rodadura DW



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

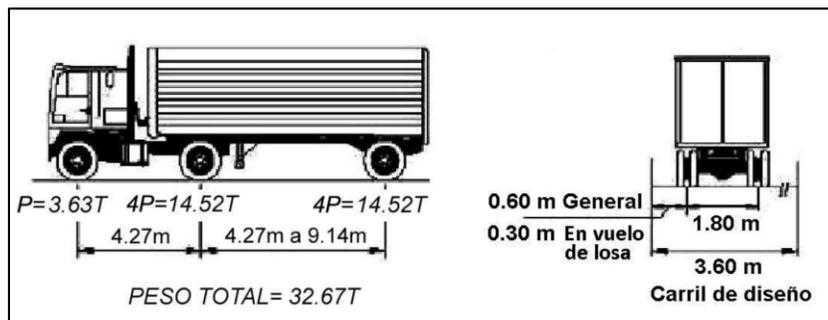
**Figura 11.** Integración de cargas por carpeta de rodadura DW



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

Para el diseño, se empleará el vehículo HL-93 según la normativa AASHTO, con un peso total de 32.67 toneladas y distribuido de la manera siguiente:

**Figura 12.** Camión de diseño HL-93

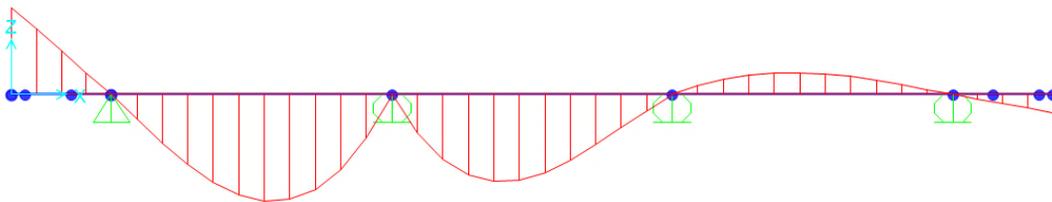


Fuente: Libro Puentes del Ing. Arturo Rodríguez Serquén.

En el cálculo se emplea un eje de carga de 14,520 kilogramos de fuerza, el cual se divide en dos cargas puntuales de  $P=14,520/2$  kilogramos de fuerza para analizar. Estas cargas seguirán la dirección transversal de la longitud del puente. Adicional, se considera una carga peatonal  $W_{PL}=366$  kgf/m<sup>2</sup> equivalente a una carga puntual de 256.2 kgf establecida por la norma AASHTO en su Artículo 3.6.1.6.

Para determinar de mejor forma, se utilizó una línea de influencia generadas desde el programa de SAP 2000, para simular el desplazamiento lateral del camión de diseño sobre la estructura.

**Figura 13.** Línea de influencia generado en SAP2000



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

De acuerdo con la normativa AASHTO, se debe contemplar un factor de presencia múltiple en los carriles de diseño, en función de los carriles cargados, el cual está detallado en la tabla siguiente.

**Tabla 5.** Factor de presencia múltiple

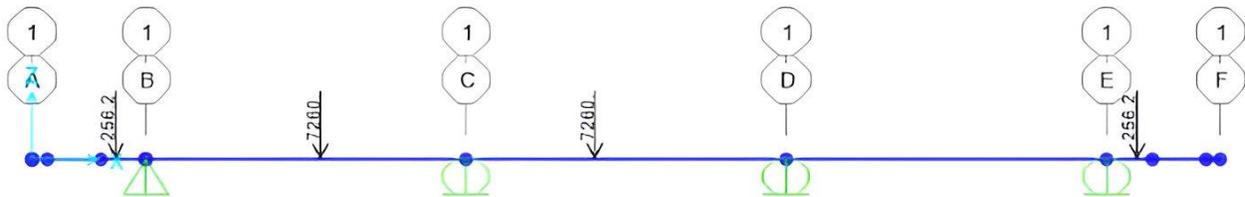
Carriles cargados	Factor de presencia múltiple
1	1.20
2	1.00
3	0.85
> 3	0.65

Fuente: Normativa AASHTO LRFD, Tabla 3.6.1.1.2-1.

En el proceso de diseño se considera un solo carril cargado, ya que, al analizar la gráfica de línea de influencia con dos carriles cargados, se observa que las alturas positivas contrarrestan los momentos negativos.

Para el diseño estructural, se tomaron en cuenta dos cargas concentradas generadas por el vehículo de diseño de 7260 kgf y dos cargas concentradas por carga peatonal en los extremos de 256.2 kgf, representadas en la siguiente figura.

**Figura 14.** Cargas puntuales por carga dinámica



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

En la representación anterior, se visualizan dos cargas puntuales simulando un carril cargado, junto con dos cargas en los extremos que simbolizan la carga peatonal sobre las aceras.

### 3.7.3. Método Sísmico

Un espectro sísmico es una representación gráfica que muestra la intensidad de un terremoto a una amplitud determinada de las vibraciones sísmicas. Este espectro se utiliza para evaluar la capacidad de una estructura para resistir los movimientos sísmicos. Para calcular el espectro de respuesta sísmica, se utilizan diversas frecuencias de vibración.

Según los datos iniciales es necesario conocer la ubicación del proyecto y el tipo de suelo en donde será situada la base del puente, El cálculo del coeficiente sísmico es

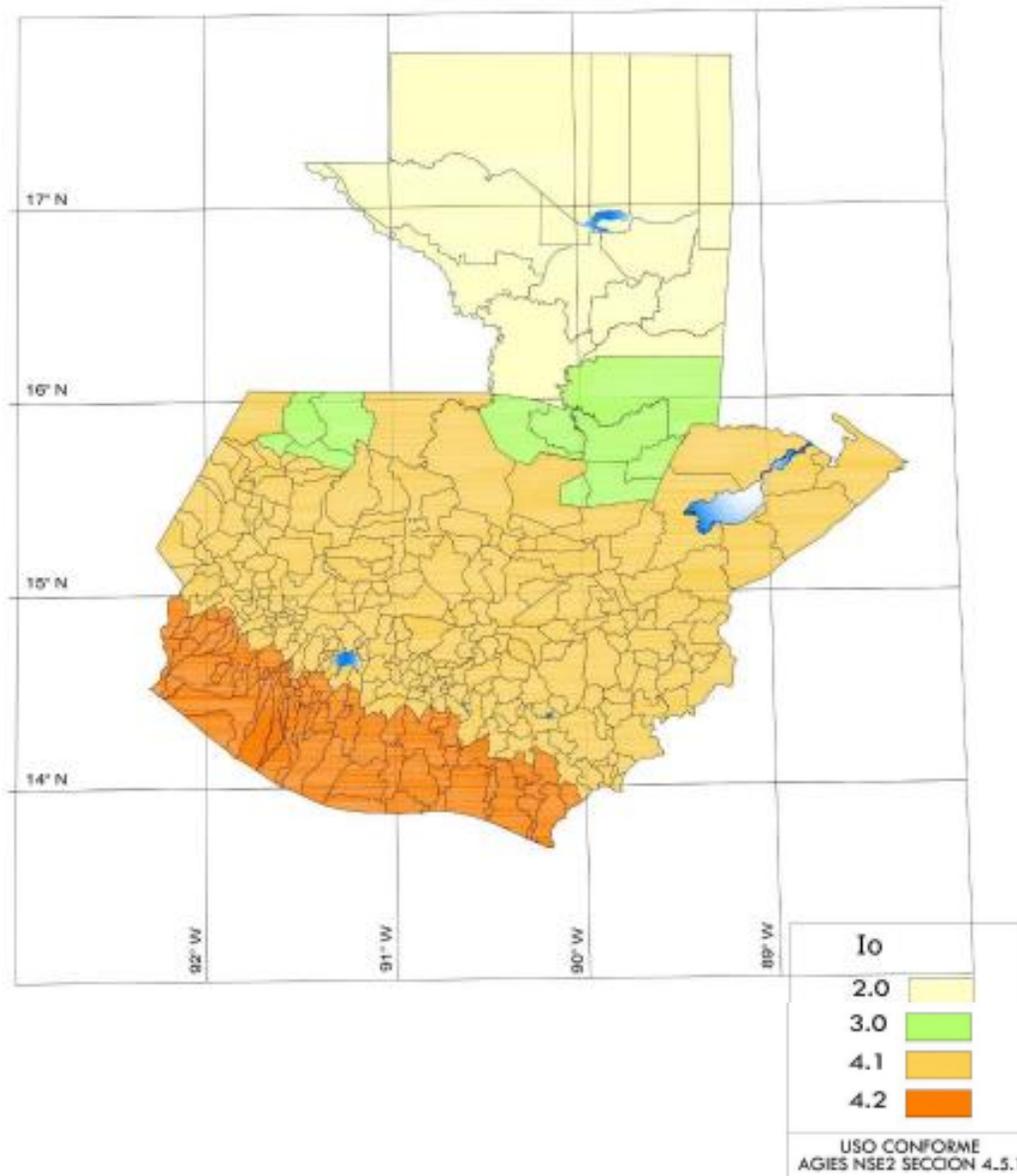
una parte importante en la ingeniería estructural, ya que ayuda a determinar la resistencia de una estructura ante sismos. Esta clasificación depende de la naturaleza de la obra, así como de factores de ajuste y calibración específicos. Además, la ubicación geográfica del área de estudio es fundamental, ya que se utilizan mapas que muestran las aceleraciones sísmicas correspondientes a cada región. Estos mapas proporcionan los coeficientes de ordenadas espectrales necesarios para calcular el coeficiente sísmico adecuado. Esta información es esencial para diseñar estructuras seguras y resistentes a los efectos de los sismos.

Antes de realizar el diseño sísmico de una estructura, es esencial tener en cuenta el mapa de zonificación sísmica correspondiente al área del proyecto. Este mapa, proporcionado por la norma NSE-2, muestra la clasificación y el nivel de riesgo sísmico de la región. Con esta información, se puede determinar el coeficiente sísmico adecuado para el diseño de la estructura, garantizando su seguridad ante posibles movimientos telúricos.

Según norma de diseño para espectros sísmicos AGIES NSE-2 2018, los requisitos de este capítulo establecen el nivel de protección sísmica que se requiere según las condiciones sísmicas de cada localidad y según la clasificación de cada obra. En este capítulo también se establecen los parámetros y espectros sísmicos que posteriormente sirven para el análisis y diseño de las estructuras.

Tomado para el diseño de puente donde la probabilidad de ser excedido en diseño es para 50 años determinado en la sección 4.7.3 de espectros de sitio con base en un análisis de amenaza sísmica, y un 5% de amortiguamiento.

**Figura 15.** Mapa de zonificación sísmica



Fuente: Normas de Seguridad Estructural (AGIES NSE-2)

A continuación, se presenta una tabla extraída de las normas de seguridad estructural AGIES, específicamente de la NSE-2. Esta tabla proporciona los parámetros necesarios para el diseño sísmico.

**Tabla 6.** Listado de amenazas sísmicas

No.	Municipio	Departamento	Suelo Tipo A			Suelo Tipo B			Suelo Tipo C			Suelo Tipo D			Suelo Tipo E			Velocidad básica del viento (km/h)	
			Scr	S1r	TL														
232	San Marcos	San Marcos	4.1	1.48	0.47	2.57	1.48	0.52	2.57	1.61	0.68	2.67	1.61	0.85	3.45	1.44	1.39	3.88	100

Fuente: NORMAS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL (AGIES NSE-2)

A continuación, se presentan los coeficientes sísmicos extraídos de la normativa utilizada para el diseño sísmico en el área de San Marcos. Según el estudio de suelos del proyecto, se clasifica el suelo como tipo D. Estos coeficientes son fundamentales para calcular la respuesta sísmica de las estructuras en esa zona y garantizar su seguridad.

**Tabla 7.** Ordenadas espectrales

ORDENADAS ESPECTRALES		
1	$I_0$	4.1
2	$S_{cr}$	1.61
3	$S_{1R}$	0.85
4	$T_l$	3.45

Fuente: Norma AGIES NSE-2-2018 Tabla 4.6.2-3.

$I_0$	Índice de sismicidad según el mapa de zonificación sísmica
$S_{cr}$	Ordenada espectral para períodos cortos
$S_{1R}$	Ordenada espectral para un período igual a un segundo
$T_l$	Ordenada espectral para períodos largos

- Clasificación de obra:

El diseño estructural de un puente es clasificado como categoría III, lo que significa que se considera una obra importante. Este tipo de puente se clasifica como un sistema tipo cajón, lo que implica que su factor de seguridad se reduce a un valor de 6. Esto significa que se deben implementar medidas adicionales para garantizar la resistencia y estabilidad del puente, ya que estará expuesto a cargas y esfuerzos mayores. Estas medidas pueden incluir un diseño estructural más robusto, el uso de materiales de mayor resistencia y la aplicación de técnicas de construcción más avanzadas. Todo esto se realiza para asegurar la integridad y seguridad del puente.

- Factores de ajuste sísmico:

Según la Norma AGIES NSE-2-2018, en ocasiones, es necesario incrementar los valores de  $S_{cr}$  y  $S_{1r}$ . Estos valores representan las aceleraciones máximas y espectrales correspondientes a una ubicación determinada. El aumento de estos valores se debe considerar cuando se esperan vibraciones más intensas en la zona, lo cual puede ocurrir por diversas razones, como la presencia de fallas geológicas cercanas o la naturaleza del suelo. Es importante tener en cuenta estas consideraciones para garantizar la seguridad de las estructuras en áreas sísmicas.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a \quad S_{1s} = S_{1R} * F_v * N_v$$

Donde:

$S_{cs}$	Ordenada espectral ajustada para períodos cortos
$S_{1s}$	Ordenada espectral ajustada para períodos igual a un segundo
$F_a, N_a$	Coefficientes de sitio para períodos de vibración cortos y largos
$F_v * N_v$	Coefficiente por proximidad para períodos cortos y largo

- Factores de ajuste por clase de sitio:

Las investigaciones recientes han demostrado que los valores de los coeficientes de ajuste  $F_a$  no requieren modificaciones adicionales. Esto se debe a que, en la última actualización de las normas de cálculo sísmico, los valores ya han sido ajustados teniendo en cuenta las ordenadas espectrales iniciales. Por lo tanto, no es necesario aplicar ningún factor de ajuste adicional a los valores de  $F_a$  en el diseño estructural. Estos coeficientes se utilizan para calcular la respuesta sísmica de las estructuras y garantizar su seguridad ante posibles eventos sísmicos.

A continuación, se presentan los siguientes valores para ajustar las ordenadas espectrales con los coeficientes de sitio:

**Tabla 8.** Coeficientes de sitio  $F_a$

CLASE DE SITIO	Índice de sismicidad			
	2	3	4.1	4.2
AB	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.0	1.0	1.0	1.0
E	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente: Norma AGIES NSE-2-2018, Tabla 4.5-1.

En la tabla siguiente se muestran los valores de los coeficientes de proximidad para períodos de vibración cortos y largos ( $N_a$ ), los cuales todos tienen valores iguales a 1.

**Tabla 9.** Factor para períodos cortos de vibración Na

TIPO DE FUENTE	Distancia horizontal más cercana a la fuente sísmica		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.0	1.0	1.0
B	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Fuente: Norma AGIES NSE-2-2018, Tabla 4.6.2-2

En la tabla siguiente se muestran los valores de los coeficientes de proximidad para períodos de vibración cortos y largos ( $F_v$ ), los cuales todos tienen valores iguales a 1.

**Tabla 10.** Coeficientes de sitio  $F_v$ 

CLASE DE SITIO	Índice de sismicidad			
	2	3	4.1	4.2
AB	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.0	1.0	1.0	1.0
E	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente: Norma AGIES NSE-2-2018, Tabla 4.5-2.

En la tabla siguiente se muestran los valores de los coeficientes de proximidad para períodos de vibración cortos y largos ( $N_v$ ), los cuales todos tienen valores iguales a 1.

**Tabla 11.** Factor para períodos cortos de vibración  $N_v$

TIPO DE FUENTE	Distancia horizontal más cercana a la fuente sísmica		
	$\leq 2$ km	5 km	$\geq 10$ km
A	1.0	1.0	1.0
B	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Fuente: Norma AGIES NSE-2-2018 Tabla 4.6.2-3.

Se determinan valores de  $F_v$  y  $N_v$  con un valor de 1.0 para ambos casos según las modificaciones de las normativas anteriores.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a$$

$$S_{cs} = 1.61 * 1 * 1 = 1.61$$

$$S_{1s} = S_{1R} * F_v * N_v$$

$$S_{1s} = 0.85 * 1 * 1 = 0.85$$

- Factores de escala:

La clasificación de la obra en la categoría III, lo cual indica que pertenece a una obra importante. Por lo tanto, se considera que el sismo al que está expuesta es de intensidad moderada. Se asigna un valor de factor  $K_d$  de 0.80, que corresponde a un sismo severo con un 5% de probabilidad de ocurrir en los próximos 50 años expresada en la siguiente tabla:

**Tabla 12.** Factores Kd según el nivel del sismo

Nivel de sismo	Factor Kd
Sismo Ordinario-10% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.66
Sismo Ordinario-5% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.80
Sismo Ordinario-2% probabilidad de ser excedido en 50 años	1.00
Sismo mínimo - condición de excepción	0.55

Fuente: Normas de Seguridad Estructural (AGIES NSE-2)

- Período de transición:

El período de transición es el momento en el que finaliza la meseta en el gráfico del espectro sísmico genérico y a partir de ese punto, la intensidad sísmica comienza a disminuir.

Calculado con la siguiente fórmula proporcionada por la norma NSE-2:

$$T_s = \frac{S_{1s}}{S_{cs}}$$

$$T_s = \frac{0.85}{1.61} = 0.53$$

Donde:

$T_s$  Período que separa los períodos cortos y largos de la gráfica

- Espectro calibrado a nivel de diseño requerido:

Con el fin de ajustar los parámetros del espectro sísmico, se deben utilizar las ecuaciones indicadas en la sección 4.5.5.-1 y 2 de la Norma AGIES NSE-2-2018. Esto permitirá evaluar la posibilidad de vibraciones sísmicas y determinar la respuesta del sistema estructural ante un evento sísmico.

$$S_{cd} = k_d * S_{cs}$$

$$S_{cd}=0.80*1.61=1.288$$

$$S_{1d}=k_d*S_{1s}$$

$$S_{1d}=0.80*0.85=0.68$$

Donde:

$S_{cd}$  Ordenada espectral calibrado.

$S_{1d}$  Ordenada espectral calibrado para un segundo.

- Factor de reducción (R):

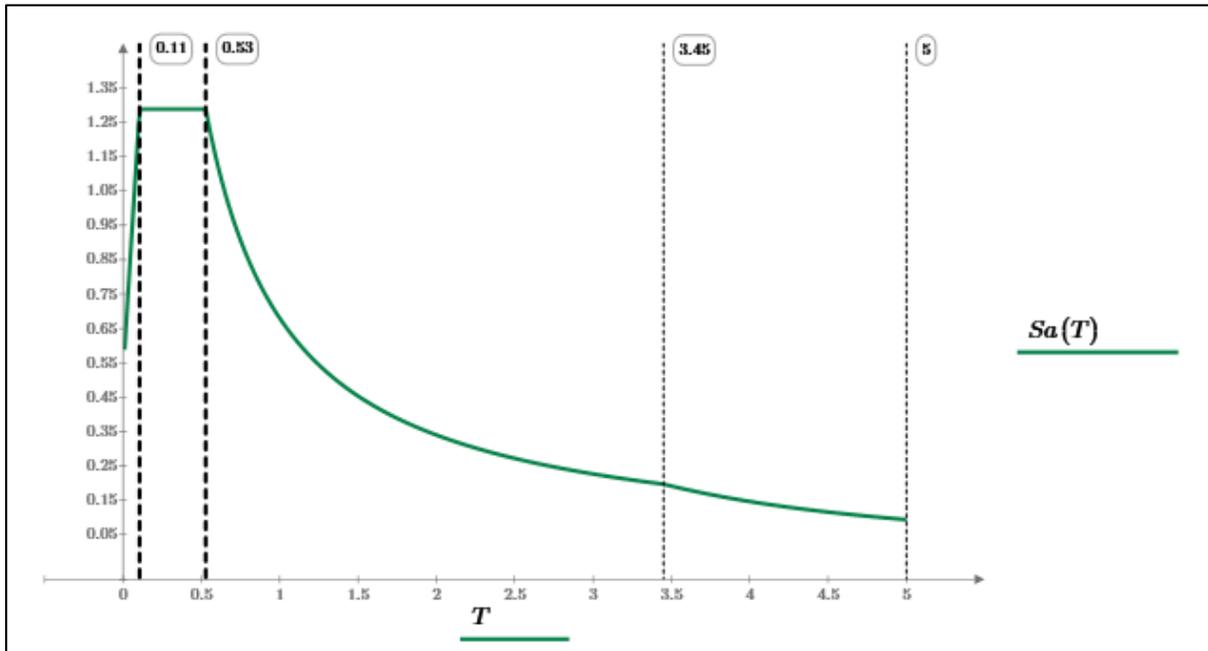
En resumen, para determinar el valor del espectro genérico de respuesta sísmica, se utilizó un factor de reducción sísmica R de 6, según lo especificado en la Tabla 1.6.14-1 de la Norma AGIES NSE-3-2018. Este factor variará según la tipología estructural, y en este caso se consideró una estructura perteneciente al sistema E2, que corresponde a una estructura de muros (estructura de cajón) lo cual es la que se asemeja a un puente vehicular.

- Gráfica del espectro de respuesta sísmica:

La gráfica muestra la distribución de la intensidad sísmica en función del período de vibración. La meseta de la gráfica representa el período fundamental de vibración, donde se registra la mayor intensidad sísmica que ha sido ajustada, calibrada y con un factor de reducción según el sistema estructural.

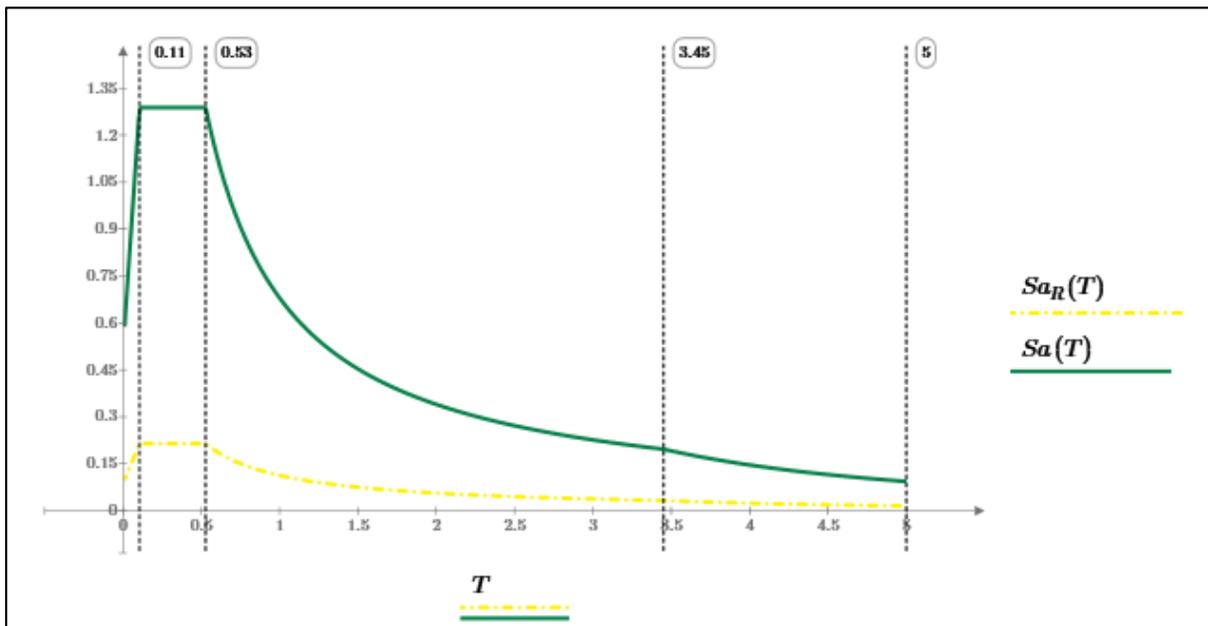
La gráfica presenta tres tramos, delimitados por diferentes períodos de transición. El período fundamental de vibración se encuentra en la meseta de la gráfica, donde se registra la mayor intensidad sísmica.

**Figura 16.** Gráfica de espectro de respuesta sísmica



Fuente: Elaboración propia utilizando el software Mathcad.

**Figura 17.** Gráfica de espectro de respuesta sísmica de diseño



Fuente: Elaboración propia utilizando el software Mathcad.

La información de la gráfica incluye el coeficiente sísmico original y el coeficiente sísmico alterado por el factor de reducción. Estos datos son importantes para determinar la intensidad del movimiento sísmico en el puente y poder diseñar los elementos estructurales correspondientes.

Para determinar el coeficiente sísmico es necesario determinar los valores que corresponden a los factores  $K_T$  y  $x$ , según el tipo de sistema estructural.

Para un sistema estructural E2 se consideran los siguientes valores:

$$K_T=0.049$$

$$x=0.75$$

$$h_n=5m$$

Donde:

$K_T$  Factor definido por el sistema estructural

$x$  Factor definido por el sistema estructural

$h_n$  Altura promedio del puente

Con los valores anteriores se calcula el período fundamental de vibración definido con la siguiente fórmula:

$$T_a=K_T \cdot h_n^x$$

$$T_a=0.049 \cdot 5^{0.75}=0.1638$$

Donde:

$T_a$  Período fundamental de vibración

Posteriormente, se calcula el espectro de respuesta sísmica en función del período fundamental de vibración.

Finalmente, se utilizó la fórmula (2.1.3-1) del NSE 3 para calcular el espectro de coeficiente sísmico al límite de cadencia en función de la magnitud del sismo y los factores de sitio. Esto permite determinar la respuesta sísmica específica de una estructura ante un evento sísmico.

$$C_s=0.215$$

Donde:

$C_s$             Coeficiente sísmico de diseño según AGIES.

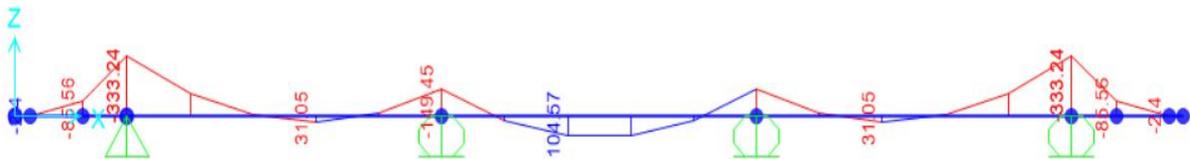
#### 3.7.4. Diseño de losa

En el diseño de losas, se incorporaron las cargas en el programa SAP 2000 en un proceso previo, luego se determinan los momentos resultantes a partir de las cargas aplicadas.

- Cálculo de momentos

En la siguiente ilustración se presenta el esquema de momentos producidos por cargas muertas debido al peso propio (losa, acera y barandilla).

**Figura 18.** Momentos por carga muerta DC



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

Para determinar el momento negativo, se toma en cuenta el máximo valor obtenido en las caras exteriores de la primera viga interna, con el siguiente resultado:

$$M_{DC}^{-} = -0.102 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Para calcular el momento positivo máximo se evalúa el mayor valor a una distancia de 0.4 S desde el soporte, lo que resulta en el momento máximo a una distancia de 0.84 metros respecto al primer apoyo, expresado de la siguiente manera:

$$M_{DC}^{+} = -0.04 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

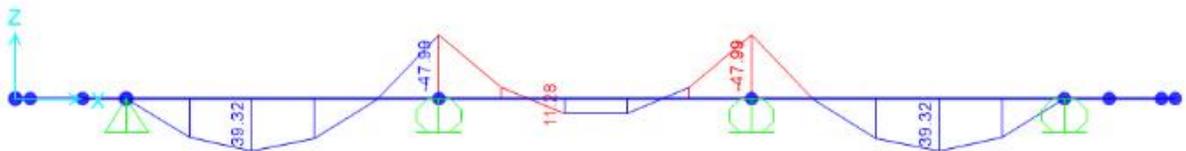
Donde:

$M_{DC}^{-}$  Momentos negativos por carga muerta

$M_{DC}^{+}$  Momentos positivos por carga muerta

En la siguiente ilustración se presenta el esquema de momentos producidos por cargas en carpeta de rodadura.

**Figura 19.** Momentos por carga por carpeta de rodadura DW



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

Para determinar el momento negativo, se toma en cuenta el máximo valor obtenido en las caras exteriores de la primera viga interna, con el siguiente resultado:

$$M_{DW}^{-} = -0.034 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Para calcular el momento positivo máximo se evalúa el mayor valor a una distancia de 0.4 S desde el soporte, lo que resulta en el momento máximo a una distancia de 0.84 metros respecto al primer apoyo, expresado de la siguiente manera:

$$M_{DW}^{+} = 0.039 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

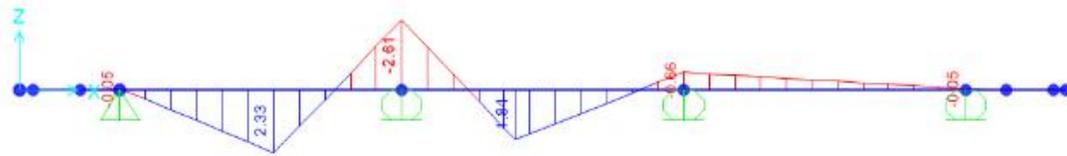
Donde:

$M_{Dw}^+$  Momentos positivos por carpeta de rodadura

$M_{Dw}^-$  Momentos negativos por carpeta de rodadura

En la siguiente ilustración se presenta el esquema de momentos producidos por cargas en cargas dinámicas (camión de diseño HL-93 y carga peatonal).

**Figura 20.** Momentos generados por carga dinámica



Fuente: Elaboración propia utilizando SAP2000.

Para determinar el momento negativo, se toma en cuenta el máximo valor obtenido en las caras exteriores de la primera viga interna, con el siguiente resultado.

$$M_{LL}^- = -1.83 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Donde:

$M_{LL}^-$  Momentos negativos por carga dinámica (ton\*m)

La distribución de cargas dinámicas en franjas de diseño es crucial para determinar el momento negativo máximo. Además, se debe considerar un factor de incremento del 33% por carga dinámica de acuerdo con las normas de diseño AASHTO LRFD.

$$E_{neg} = 1.22 + 0.25 \cdot S'$$

$$E_{neg} = 1.22 + 0.25 \cdot 2.10$$

$$E_{neg} = 1.75 \text{ m}$$

$$IM = 1.33$$

Se procede a aplicar los factores mencionados al momento negativo de diseño en la expresión siguiente:

$$M_{LL\_IM}^- = M_{LL}^- * \left( \frac{F_{pm} * IM}{E_{neg}} \right)$$

$$M_{LL\_IM}^- = -1.83 * \left( \frac{1.20 * 1.33}{1.75} \right)$$

$$M_{LL\_IM}^- = -1.67 \text{ ton*m}$$

Para calcular el momento positivo se toma en cuenta el valor más alto en la gráfica.

$$M_{LL}^+ = 2.33 \text{ ton*m}$$

La distribución de cargas dinámicas en franjas de diseño es crucial para determinar el momento positivo máximo. Además, se debe considerar un factor de incremento del 33% por carga dinámica de acuerdo con las normas de diseño AASHTO LRFD.

$$E_{pos} = 0.66 + 0.55 * S'$$

$$E_{pos} = 0.66 + 0.55 * 2.10$$

$$E_{pos} = 1.82 \text{ m}$$

$$IM = 1.33$$

Se procede a aplicar los factores mencionados al momento positivo de diseño en la expresión siguiente:

$$M_{LL\_IM}^+ = M_{LL}^+ * \left( \frac{F_{pm} * IM}{E_{pos}} \right)$$

$$M_{LL\_IM}^+ = 2.33 * \left( \frac{1.20 * 1.33}{1.82} \right) = 2.04 \text{ ton*m}$$

**Tabla 13.** Combinaciones de carga

Combinación de cargas Estado límite	DC									
	DD	LL						TU		
	DW	IM						CR		
	EH	CE								
	EV	BR								
	ES	PL								
	EL	LS	WA	WS	WL	FR	SH		TG	SE
Resistencia I (a menos que se especifique lo contrario)	$\gamma_p$	1,75	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Resistencia II	$\gamma_p$	1.35	1.00	-	-	1.00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Resistencia III	$\gamma_p$	-	1.00	1.4	-	1.00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Resistencia IV – Sólo EH, EV, ES, DW, DC	$\gamma_p$ 1.5	-	1.00	-	-	1.00	0,50/1,20		-	-
Resistencia V	$\gamma_p$	1.35	1.00	0.4	1	1.00	0,50/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Evento extremo I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1.00	-	-	1.00	-		-	-
Evento extremo II	$\gamma_p$	0.5	1.00	-	-	1.00	-		-	-
Servicio I	1.00	1	1.00	0.3	1	1.00	100/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Servicio II	1.00	1.3	1.00	-	-	1.00	100/1,20		-	-
Servicio III	1.00	0.8	1.00	-	-	1.00	100/1,20		$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.7	-	1.00	100/1,20		-	-
Fatiga - Sólo LL, IM y CE	-	0.75	-	-	-	-	-		-	-

Fuente: Normas de Seguridad Estructural (AGIES NSE 5.2, 2018)

Para el incremento de cargas de acuerdo con los lineamientos LRFD, se utilizan factores de incremento de resistencia 1 y servicio 1 para calcular los momentos de diseño máximos extraídos de la tabla anterior.

Donde:

$E_{neg}$  Ancho de franja para momento negativo

$E_{pos}$  Ancho de franja para momento positivo

IM Factor de incremento por carga dinámica

$F_{pm}$  Factor de presencia múltiple

$M_{LL\_IM}^-$  Momento negativo por carga viva

$M_{LL\_IM}^+$  Momento positivo por carga viva

- Momento negativo:

Con la mayoración de cargas por el estado de servicio 1 se obtiene el siguiente valor:

$$M_{S\_NEG}=1.81 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Con la mayoración de cargas por el estado de resistencia 1 se obtiene el siguiente valor:

$$M_{U\_NEG}=3.10 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

- Momento positivo:

Con la mayoración de cargas por el estado de servicio 1 se obtiene el siguiente valor:

$$M_{S\_POS}=2.12 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Con la mayoración de cargas por el estado de resistencia 1, se obtiene el siguiente valor:

$$M_{U\_POS}=3.66 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Conociendo los momentos mayorados con el estado límite de resistencia 1, se prosigue a calcular el acero de refuerzo en toda la losa.

- Cálculo de acero para momento negativo:

Datos iniciales para la propuesta de acero de refuerzo principal para cama superior de la losa:

$$M_{U\_NEG}=3.10 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

$$D_{\text{varilla}} = \frac{V_{\text{varilla}}}{8} = \frac{4}{8} * 2.54 = 1.27 \text{ cm}$$

$$r = r_{\text{libre}} + \frac{D_{\text{varilla}}}{2} = 5 + \frac{1.27}{2} = 5.64 \text{ cm}$$

$$d = t - r = 20 - 5.64 = 14.36 \text{ cm}$$

Para determinar la cantidad de acero necesaria, se utilizan las fórmulas estándar de cuantías establecidas por el ACI 3-18 en una sección de diseño de un metro de ancho.

$$R = \frac{M_{U\_NEG}}{\phi * b * d^2}$$

$$\rho_1 = 0.85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * R}{0.85 * f'c}} \right)$$

$$A_S = \rho_1 * b * d$$

Donde:

d	Peralte efectivo
t	Espesor de losa
r	Recubrimiento
R	Esfuerzo para cuantía de refuerzo

$\rho_1$	Cuantía del refuerzo
$A_S$	Área de acero para diseño
$\phi$	Factor de reducción de resistencia
$b$	Longitud de análisis

$$R = \frac{M_{U\_NEG}}{\phi * b * d^2} = \frac{3.10}{0.90 * 100 * 14.36^2} = 16.70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho_1 = 0.85 * \left( \frac{280}{4200} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 16.70}{0.85 * 280}} \right) = 0.0041$$

$$A_S = \rho_1 * b * d = 0.0041 * 100 * 14.36 = 5.95 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{varillas}} = \frac{A_S}{A_{\text{varilla}}} = \frac{5.95}{1.27} = 4.68 \approx 5 \text{ varillas}$$

$$S = \frac{b}{N_{\text{varillas}}} = \frac{100}{5} = 20 \approx 18 \text{ cm}$$

Tras calcular la cantidad de acero requerida, se utilizan varillas de diámetro número 4 con una separación de 18 centímetros, considerando también la verificación de fisuración posteriormente.

- Cálculo de acero por temperatura:

Se evalúa la temperatura del acero considerando la sección transversal de todo el tablero, que está alineada de manera paralela a la sección transversal de la cama superior.

$$b = 780 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$A_{s\_temp} = \frac{0.18 * b * h}{2 * (b + h)} = \frac{0.18 * 780 * 20}{2 * (780 + 20)} = 1.76 \text{ cm}^2$$

Donde:

$A_{s\_temp}$  Acero por temperatura

$b$  Base del tablero

$h$  Altura del tablero

Según la norma AASHTO establece que si el acero calculado no se encuentra dentro del siguiente rango de  $2.33 \text{ cm}^2$  y  $12.70 \text{ cm}^2$  se considerará el valor mínimo.

$$A_{s\_temp} = 2.33 \text{ cm}^2$$

Tras calcular la cantidad de acero por temperatura, se utilizan varillas de diámetro número 3 con una separación de 25 centímetros.

$$N_{\text{varillas}} = \frac{A_s}{A_{\text{varilla}}} = \frac{2.33}{0.71} = 3.27 \approx 4 \text{ varillas}$$

$$S = \frac{b}{N_{\text{varillas}}} = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}$$

- Cálculo de franja longitudinal cama inferior:

Para determinar la cantidad de acero necesario, se utilizan varillas de acero número 4, con un recubrimiento libre de 2.5 cm.

$$D_{\text{varilla}} = \frac{V_{\text{varilla}}}{8} = \frac{4}{8} * 2.54 = 1.27 \text{ cm}$$

$$r = r_{\text{libre}} + \frac{D_{\text{varilla}}}{2} = 2.5 + \frac{1.27}{2} = 3.14 \text{ cm}$$

$$d = t - r = 20 - 3.14 = 16.87 \text{ cm}$$

Para determinar la cantidad de acero necesaria, se utilizan las fórmulas estándar de cuantías establecidas por el ACI 3-18 en una sección de diseño de un metro de ancho.

$$R = \frac{M_{U\_POS}}{\phi * b * d^2} = \frac{3.66}{0.90 * 100 * 16.87^2} = 14.29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho_1 = 0.85 * \left( \frac{280}{4200} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 14.29}{0.85 * 280}} \right) = 0.0035$$

$$A_s = \rho_1 * b * d = 0.0035 * 100 * 16.87 = 5.89 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{varillas}} = \frac{A_s}{A_{\text{varilla}}} = \frac{5.89}{1.27} = 4.64 \approx 5 \text{ varillas}$$

$$S = \frac{b}{N_{\text{varillas}}} = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$$

$$S_{\text{final}} = 20 \text{ cm}$$

Tras calcular la cantidad de acero requerida para la cama inferior o momento positivo, se utilizan varillas de diámetro número 4 con una separación de 20 centímetros.

- Cálculo de acero por distribución:

El artículo 9.7.3.2 de la normativa AASHTO establece dos valores porcentuales para la distribución de la armadura de acero, eligiendo el menor de los dos como mínimo requerido.

$$POR_1 = \frac{121}{\sqrt{S_L}} \% = 90\%$$

$$POR_2 = 67\%$$

De los valores anteriores, se considera el 67% del área de acero según condiciones de normativa.

$$A_{s\_dis} = POR * A_s$$

$$A_{s\_dis} = 67\% * 5.89 = 3.85 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{varillas}} = \frac{A_s}{A_{\text{varilla}}} = \frac{3.85}{1.27} = 3.03 \approx 4 \text{ varillas}$$

$$S = \frac{b}{N_{\text{varillas}}} = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}$$

$$S_{\text{final}}=25 \text{ cm}$$

Al conocer el valor del acero requerido por distribución de armadura, se proponen varillas número 4 con un espaciamiento de 25cm.

- Revisión por fisuración de armadura:

Para el análisis por fisuración del acero negativo se analiza del siguiente procedimiento:

Se encuentra el momento de servicio de análisis utilizando la franja de diseño según la separación de la armadura de 0.18m

$$M_S=M_{S\_NEG} *AT$$

$$M_S=1.81*0.18=0.33 \text{ ton*m}$$

Posteriormente, se calcula la relación modular según las propiedades de los materiales:

$$n=\frac{E_S}{E_C}$$

$$n=\frac{2040000}{256018}=8$$

Donde:

n Relación modular entre el acero y el concreto

$E_S$  Módulo de elasticidad del acero

$E_c$  Módulo de elasticidad del concreto

Encontrando la relación modular, se encuentra el área de acero transformada utilizando varillas número 4.

$$A_{st}=n*A_{var}$$

$$A_{st}=8*1.27=10.09 \text{ cm}^2$$

Donde:

$A_{st}$  Área de acero transformada

En el cálculo de la cantidad de acero de refuerzo necesaria, se considera la sección transversal y se determina la ubicación de barras y espaciamientos adecuados para cumplir con las normas de diseño estructural.

Mediante una ecuación cuadrática se encuentra la altura del bloque a compresión:

$$y=3.49 \text{ cm}$$

Seguidamente se calcula el brazo para relacionar el momento par del elemento estructural.

$$J_d=d-\frac{y}{3}$$

$$J_d=14.37-\frac{3.49}{3}=13.20 \text{ cm}$$

Encontrando el valor de  $J_d$  se procede a calcular los esfuerzos:

$$f_{ss}=\frac{M_s}{J_d \cdot A_s}$$

$$f_{ss}=\frac{0.33}{15.65 \cdot 1.27}=1949.23 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Mediante la siguiente formula se puede encontrar el espaciamiento máximo que debe tener la armadura para la cama superior:

$$\beta_s=1+\frac{d_c}{0.7 \cdot (h-d_c)}-2 \cdot d_c$$

$$S_{\text{máx}}=\frac{125000 \cdot y_e}{\beta_s \cdot f_{ss}}$$

$$\beta_s=1+\frac{0.06}{0.7 \cdot (0.20-0.06)}=1.56$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{125000 \cdot 0.75}{1.27 \cdot 2101.17} - 2 \cdot 0.06 = 19.55 \text{ cm}$$

Donde:

$J_d$  Brazo entre esfuerzo de tensión y compresión (cm)

$y$  Altura para el área a compresión (cm)

$S_{\text{max}}$  Separación máxima

$d_c$  Recubrimiento libre

$y_e$  Factor para condición de exposición severa

$h$  Altura de losa

De los datos anteriores se puede observar que el espaciamiento máximo del acero para cama superior o momento negativo es de 19.55cm y el espaciamiento utilizado es de 18cm, lo cual es correcto.

Para el análisis por fisuración del acero positivo se analiza del siguiente procedimiento:

Se encuentra el momento de servicio de análisis utilizando la franja de diseño según la separación de la armadura de 0.20m

$$M_S = M_{S\_POS} \cdot AT$$

$$M_S = 2.12 \cdot 0.20 = 0.42 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Posteriormente, se calcula la relación modular según las propiedades de los materiales:

$$n = \frac{E_S}{E_C}$$

$$n = \frac{2040000}{256018} = 8$$

Encontrando la relación modular se encuentra el área de acero transformada utilizando varillas número 4.

$$A_{st}=n \cdot A_{var}$$

$$A_{st}=8 \cdot 1.27=10.09 \text{ cm}^2$$

En el cálculo de la cantidad de acero de refuerzo necesaria, se considera la sección transversal y se determina la ubicación de barras y espaciamientos adecuados para cumplir con las normas de diseño estructural.

Mediante una ecuación cuadrática se encuentra la altura del bloque a compresión:

$$y=3.65 \text{ cm}$$

Seguidamente, se calcula el brazo para relacionar el momento par del elemento estructural.

$$J_d=d-\frac{y}{3}$$

$$J_d=14.37-\frac{3.65}{3}=15.65 \text{ cm}$$

Encontrando el valor de  $J_d$  se procede a calcular los esfuerzos:

$$f_{ss}=\frac{M_s}{J_d \cdot A_s}$$

$$f_{ss}=\frac{0.42}{15.65 \cdot 1.27}=2101.17 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Mediante la siguiente fórmula se puede encontrar el espaciamiento máximo que debe tener la armadura para la cama superior:

$$\beta_s=1+\frac{d_c}{0.7 \cdot (h-d_c)}-2 \cdot d_c$$

$$S_{\text{máx}}=\frac{125000 \cdot y_e}{\beta_s \cdot f_{ss}}$$

$$\beta_s = 1 + \frac{0.03}{0.7 \cdot (0.20 - 0.03)} = 1.27$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{125000 \cdot 0.75}{1.27 \cdot 2101.17} - 2 \cdot 0.03 = 28.99 \text{ cm}$$

Donde:

$S_{\text{máx}}$	Separación máxima
$d_c$	Recubrimiento libre
$y_e$	Factor para condición de exposición severa
$h$	Altura de losa

De los datos anteriores, se puede observar que el espaciamiento máximo del acero para cama inferior o momento positivo es de 28.99cm y el espaciamiento utilizado es de 20cm, lo cual es correcto.

### 3.7.5. Diseño de banquetas y baranda

Diseño de banqueta:

Una banqueta en un puente es de suma importancia, ya que proporciona un espacio seguro y cómodo para que los peatones y ciclistas puedan transitar de forma separada de los vehículos. Esto reduce el riesgo de accidentes y mejora la seguridad de los usuarios.

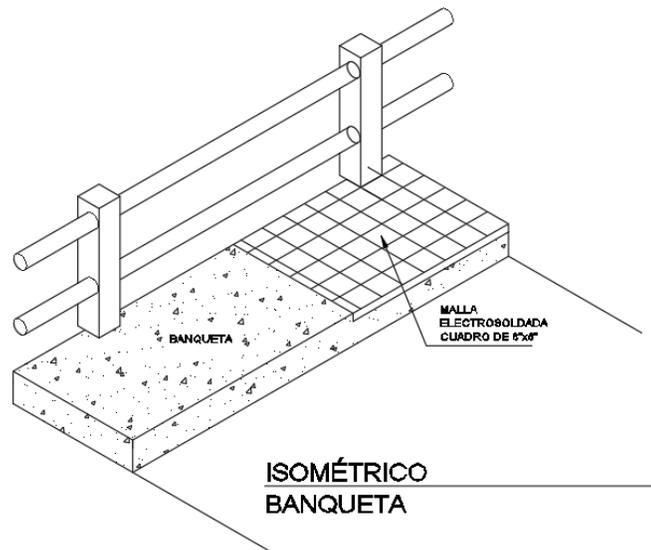
Además, la banqueta en puentes fomenta la movilidad peatonal, promoviendo un estilo de vida adecuado. También facilita la accesibilidad para las personas, permitiéndoles desplazarse de manera independiente y segura.

Considerar una banqueta es fundamental para garantizar la seguridad, accesibilidad y comodidad de los usuarios.

Para el diseño de las banquetas en el paso peatonal, se consideraron criterios basados en la normativa AASHTO. Se estableció un ancho libre de 70 cm, que supera el mínimo requerido de 60 cm, con el fin de garantizar una mayor fluidez para los peatones.

Las banquetas del puente siguen los parámetros establecidos, con una altura de 20 cm y un ancho de 70 cm de concreto armado con malla electro-soldada. Se ubican en los extremos del puente, como se detalla en la siguiente imagen.

**Figura 21.** Diseño de banqueta



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

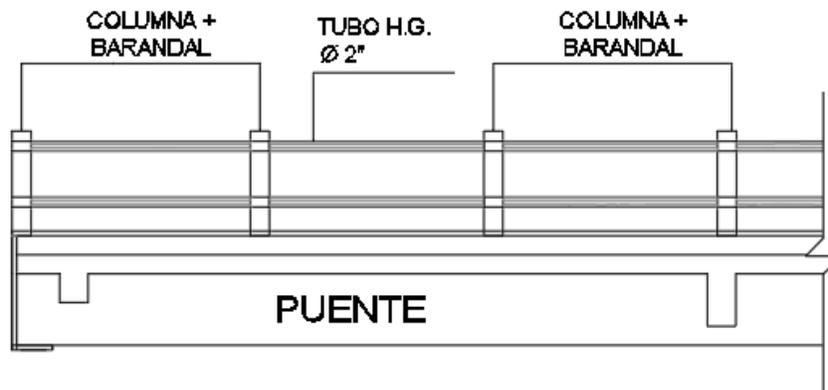
- Diseño de baranda:

El diseño de las barandas es fundamental para garantizar la seguridad de los usuarios, especialmente de los peatones. Proporcionan un apoyo físico y visual que ayuda a prevenir caídas y accidentes, especialmente en zonas elevadas o con tráfico intenso. Además, las barandas también sirven como elemento de diseño y pueden contribuir a la estética y funcionalidad del puente. Por lo tanto, la presencia de barandas

en los puentes es crucial para garantizar la seguridad y comodidad de todas las personas que transitan por ellos.

Las barandas del puente cumplen con las medidas establecidas por la normativa, con una altura de 1.10m. Están conformadas por columnas de concreto armado de 0.20m x 0.20m, separadas 1.97m entre sí, y cuentan con tubos horizontales HG de 2 pulgadas, como se muestra en la figura adjunta.

**Figura 22.** Diseño de baranda



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

### 3.7.6. Diseño de vigas principales

Para el diseño se toman en cuenta vigas en el interior y exterior, siendo la viga interior la más importante debido a la influencia de cargas dinámicas. Las cargas se definen de la siguiente manera para calcular las solicitaciones.

Se consideran todas las cargas permanentes por su propio peso y se calculan los momentos flectores que servirán para diseñar la viga.

$$L=12 \text{ m}$$

$$W_{\text{losa}}=0.20*2.10*2400=1008 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{viga}}=0.70*0.30*2400=504 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{DC}}=1008+504=1512 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{DC}_1}=\frac{W_{\text{DC}}*L^2}{8}=\frac{1512*12^2}{8}=27.22 \text{ ton*m}$$

$$P_{\text{diaf}}=0.50*(2.10-0.30)*0.30*2400=648 \text{ kgf}$$

$$M_{\text{DC}_2}=\frac{P_{\text{diaf}}*L}{4}=\frac{648*12}{4}=1.94 \text{ ton*m}$$

$$M_{\text{DC}}=27.22+1.94=29.16 \text{ ton*m}$$

Donde:

$W_{\text{losa}}$  Carga por losa

$W_{\text{viga}}$  Carga por viga

$W_{\text{DC}}$  Carga total por DC

$M_{\text{DC}_1}$  Momento por cargas DC

$M_{\text{DC}_2}$  Momento por diafragma

$P_{\text{diaf}}$  Carga por diafragma

A partir de la información previa, se obtiene que el momento total debido a la carga muerta es de 29.16 Ton\*m.

Se consideran todas las cargas por carpeta de rodadura y se calculan los momentos flectores que servirán para diseñar la viga.

$$W_{\text{rod}_2}=0.05*2.1*2240=235 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{DW}}=\frac{W_{\text{rod}_2}*L^2}{8}=\frac{235*12^2}{8}=4.23 \text{ ton*m}$$

Donde:

$W_{rod\_2}$  Carga por carpeta de rodadura

$M_{DW}$  Momento por carpeta de rodadura

Se considera el momento flector máximo por carga dinámica utilizando el valor definido en la tabla A2.1 de Momentos y reacciones máximas en tramos simplemente apoyados por sobrecarga HL-93, que se determina mediante el teorema de Barré en función de la luz del tramo.

El camión de diseño HL-93 genera un valor de 98.76 toneladas por metro de luz en un tramo de 12 metros, lo cual ya incluye el incremento por carga dinámica y la carga de carril.

$$M_{LL\_IM\_1}=98.76 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Donde:

$M_{LL\_IM\_1}$  Momento generado por carga vehicular

- Factor de distribución de momentos:

Debido a que se cuenta con vigas interiores y exteriores, el momento por carga vehicular es afectado por un factor de distribución, lo cual se calcula para un carril cargado y para dos carriles cargados.

Caso de un carril cargado:

Considerando las propiedades de los materiales, las inercias y las dimensiones de la viga se encuentra el siguiente valor para el factor por distribución:

$$g_{_1}=0.48$$

Caso de dos carriles cargados:

Considerando las propiedades de los materiales, las inercias y las dimensiones de la viga se encuentra el siguiente valor para el factor por distribución para 2 carriles cargados:

$$g_{-2} = 0.62$$

Para el factor de distribución de momento se consideró el del caso más crítico de dos carriles cargados.

$$g_{in} = 0.62$$

$$M_{LL\_IM} = 98.76 * 0.62 = 61.32 \text{ ton*m}$$

Donde:

$g_{in}$  Factor de distribución de momentos en viga interior

$M_{LL\_IM}$  Momento por carga viva

A continuación, se presenta un resumen de momentos generados por carga muerta, carpeta de rodadura y cargas dinámicas:

**Tabla 14.** Resumen de momentos para viga interior

Resumen de momentos positivos	
DC	$M_{DC} = 29.16 \text{ ton*m}$
DW	$M_{DW} = 4.23 \text{ ton*m}$
LL+IM	$M_{LL\_IM} = 61.32 \text{ ton*m}$

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel 2016.

Mayoración de momentos: Según los criterios LRFD en su tabla 3.4.1-1, proporciona factores de mayoración de resistencia 1 y servicio 1, para determinar los momentos últimos de diseño.

**Tabla 15.** Factores de mayoración de cargas

Mayoración de cargas		
Resistencia I	Servicio I	Fatiga I
1.25	1.00	0
1.50	1.00	0
1.75	1.00	1.50

Fuente: Norma AASHTO, Tabla 3.4.1-1

Momento por Servicio 1:

$$M_{U\_servicio}=1*29.16+1*4.23+1*61.32=94.71 \text{ ton*m}$$

Momento por resistencia 1:

$$M_U=1.25*29.16+1.50*4.23+1.75*61.32=150.11 \text{ ton*m}$$

Donde:

$M_{U\_servicio}$  Momento último por Servicio 1

$M_U$  Momento último por Resistencia 1

Debido a las características en sección se diseña una viga rectangular.

$$\phi_1=0.90$$

$$A_s = \frac{M_U}{0.9 * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{150.11}{0.9 * 4.2 * \left(77 - \frac{5.27}{2}\right)} = 53.26 \text{ cm}^2$$

Donde:

$A_s$  Área de acero requerido

$\phi$  Factor de reducción de resistencia

Para el acero longitudinal se proponen varillas número 8:

$$N_{\text{varillas}} = \frac{A_s}{A_{\text{varilla}}} = \frac{53.26}{5.067} = 10.51 \approx 11 \text{ varillas}$$

Se recomienda utilizar 11 barras de refuerzo número 8, respetando el área de acero necesaria, con una separación mínima de 5 cm entre ellas y un recubrimiento de 5 cm, tal y como se detalla en el documento de construcción.

- Acero máximo:

Para el área de acero máximo las nuevas disposiciones de la norma AASHTO LRFD elimina el límite.

- Acero mínimo:

La norma AASHTO proporciona dos momentos mínimos ( $M_{cr}$ ) y  $1.33*Mu$ , lo cual el menor de ambos debe ser menor al momento resistente obtenido por las 12 varillas número 8 propuestas.

$$f_r = 2.01 * \sqrt{280 * \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 33.63 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$S = \frac{2.10 * (0.90)^2}{6} = 283500 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 1.1 * 33.63 * 283500 = 104.89 \text{ ton*m}$$

$$1.33 * Mu = 1.33 * 150.11 = 199.65 \text{ ton*m}$$

$$M_U = 150.11 \text{ ton*m}$$

El valor mínimo de los anteriores, es:

$$M_{cr} = 104.89 \text{ ton*m}$$

$$M_{\text{resistente}} = 0.9 * \left( 55.74 * 4200 * \left( 0.77 * \frac{55.74 * 4200}{1.7 * 280 * 2.10} \right) \right) = 154.97 \text{ ton*m}$$

Donde:

$f_r$  Esfuerzo de tensión del acero  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

$M_{cr}$  Momento mínimo (ton\*m)

$M_U$  Momento último por combinación de Resistencia 1 (ton\*m)

$M_{resistente}$  Momento resistente (ton\*m)

Con el área de acero propuesto se cumple con los momentos actuantes.

- Cálculo de acero por temperatura:

Para el acero por temperatura se considera la sección transversal de la viga.

$$b=30 \text{ cm}$$

$$h=90 \text{ cm}$$

$$A_{s\_temp} = \frac{0.18 \cdot b \cdot h}{2 \cdot (b+h)} = \frac{0.18 \cdot 30 \cdot 90}{2 \cdot (30+90)} = 2.03 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\_temp} = 2.33 \text{ cm}^2$$

La norma AASHTO establece que si el acero requerido por temperatura no se encuentra en el rango de  $2.33 \text{ cm}^2$  y  $12.70 \text{ cm}^2$  se considerará el valor mínimo.

$$N_{varillas} = \frac{A_{s\_temp}}{A_{varilla}} = \frac{2.33}{5.067} = 0.46 \approx 2 \text{ varillas}$$

Para el acero por temperatura se considera 2 varillas número 8 por proceso constructivo.

- Diseño por corte:

La norma AASHTO establece que el cortante en vigas se produce a una distancia "(dv)" desde la cara interna del apoyo, de acuerdo con su Artículo 5.7.3.2.

$$d_v = d - \frac{a}{2} = 77 - \frac{5}{2} = 74.76 \text{ cm}$$

$$b_{dis}=25 \text{ cm}$$

$$d_{v\_crítico}=74.76+\frac{25}{2}=0.87 \text{ m}$$

Donde:

$d_v$  Peralte efectivo por corte

$b_{dis}$  Base del dispositivo propuesto

$d_{v\_crítico}$  Distancia del eje de apoyo a la sección crítica

Se consideran las cargas por carga muerta DC calculados anteriormente, adicional se agrega el peso de los diafragmas exteriores:

$$W_{DC}=1512 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{diaf}=0.50*(2.10-0.30)*0.3*2400=648 \text{ kgf}$$

$$P_{diaf\_ex}=0.30*(2.10-0.30)*0.30*2400=388.80 \text{ kgf}$$

Para encontrar la reacción en el punto (A) debido a las cargas muertas, se realiza una sumatoria de momentos en el punto (B)

$$R_A(L)-P_{diaf\_ex}(L)-P_{diaf}\left(\frac{L}{2}\right)-W_{DC}\left(\frac{L^2}{2}\right)=0$$

$$R_A=\frac{388.80*(12)+648*\left(\frac{12}{2}\right)+1512*\left(\frac{12^2}{2}\right)}{13}=9.78 \text{ ton}$$

$$V_{DC}=9.78-388.80-0.87*1512=7.82 \text{ ton}$$

Se consideran las cargas por carpeta de rodadura calculados anteriormente:

$$W_{DW}=235.20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$d_{v\_crítico}=0.87 \text{ m}$$

Para encontrar la reacción en el punto (A) debido a las cargas por carpeta de rodadura, se realiza una sumatoria de momentos en el punto (B).

$$(B)R_A*(L)-W_{DW}*\left(\frac{L^2}{2}\right)=0$$

$$R_A=\frac{235.20*\left(\frac{12^2}{2}\right)}{12}=1.41 \text{ ton}$$

$$V_{DW}=1.41-0.87*235.20=1.21 \text{ ton}$$

Donde:

$W_{DC}$	Carga muerta losa y viga
$P_{\text{diaf}}$	Peso por diafragma interior
$P_{\text{diaf\_ex}}$	Peso por diafragma exterior
$V_{DC}$	Cortante generado por carga muerta DC
$W_{DW}$	Carga por carpeta de rodadura
$V_{DW}$	Cortante generado por carpeta de rodadura DW

Para analizar las respuestas generadas por cargas en movimiento, se considera únicamente el camión HL-93, ya que las cargas provenientes del Tándem de diseño son de menor importancia.

$$P_{1,1}=14.52 \text{ ton}$$

$$P_{1,2}=14.52 \text{ ton}$$

$$P_{1,3}=3.63 \text{ ton}$$

Para hallar la fuerza en el punto (A) causada por las cargas dinámicas, se suma los momentos en el punto (B).

$$R_A(L)-P_{1,1}(L-d_{v_{\text{crítico}}})-P_{1,2}(L-d_{v_{\text{crítico}}}-4.27)-P_{1,3}(L-d_{v_{\text{crítico}}}-2(4.27))=0$$

$$R_A = \frac{14.52 \cdot (12 - 0.87) - 14.52 \cdot (12 - 0.87 - 4.27) - 3.63 \cdot (12 - 0.87 - 2 \cdot (4.27))}{12}$$

$$R_A = 22.54 \text{ ton}$$

También se considera la carga de carril establecido por la norma AASCHTO:

$$W_{3.1} = 0.952 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

Para determinar la fuerza en el punto (A) provocada por las cargas de carril, se lleva a cabo una suma de momentos en el punto (B).

$$R_A(L) - W_{3.1} \frac{(L - d_{V_{\text{crítico}}})^2}{2} = 0$$

$$R_A = \frac{0.952 \cdot \frac{(12 - 0.87)^2}{2}}{12} = 4.91 \text{ ton}$$

$$V_{\text{CARRIL}} = R_A = 4.91 \text{ ton}$$

Seguidamente, se suma la carga dinámica aplicando el factor de incremento por carga dinámica:

$$IM = 1.33$$

$$V_{LL\_IM\_1.1} = 22.54 \cdot 1.33 + 4.91 = 34.90 \text{ ton}$$

Donde:

$V_{\text{CARRIL}}$  Cortante generado por carga de carril

IM Factor de incremento por carga dinámica

$V_{LL\_IM\_1.1}$  Cortante generado por carga dinámica + carga por carril

Se considera el factor de distribución para el caso de un solo carril cargado:

$$g_1 = 0.64$$

Se considera el factor de distribución para el caso de dos carriles cargados:

$$g_{1.2}=0.74$$

De los factores anteriores se considera el más crítico:

$$g_{dis}=0.74$$

$$V_{LL\_IM}=g_{dis} * V_{LL\_IM\_1.1}=0.74*34.90=25.99 \text{ ton}$$

Se calcula el cortante último de diseño al combinar las cargas obtenidas mediante el uso del límite de resistencia 1.

$$V_U=1.25*7.82+1.5*1.21+1.75*25.99=57.06 \text{ ton}$$

Donde:

$V_U$  Cortante último

Diseño de estribos en la sección crítica: En el cálculo del diseño por corte en esta etapa se toman en cuenta ciertos parámetros definidos por el código ACI3-18s. Uno de esos parámetros es el cortante nominal resistente del concreto.

$$V_c=0.53*\sqrt{f_c}*b_{viga}*d_v=0.53*\sqrt{280*\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}*30*74.76=19891.08 \text{ kgf}$$

Para determinar el cortante resistente del acero, se propone utilizar estribos con varillas número 4 a cada 15 cm.

$$S_{estribos}=15 \text{ cm}$$

$$V_s=\frac{2*A_v*fy*d_v}{S}$$

$$V_s=\frac{2*1.27*4200*0.74.76}{0.15}=53035.62 \text{ kgf}$$

Donde:

$S_{estribos}$  Espaciamiento entre estribos asumido

$V_s$  Cortante del acero

Cortante nominal resistente:

$$V_n = V_c + V_s = 19891.08 + 53035.62 = 72926.70 \text{ kgf}$$

$$V_n = 72926.70 \text{ kgf}$$

Para tener un margen de seguridad, se reduce el cortante nominal resistente a un 90%

$$V_r = 0.9 * 72926.70 = 65634.03 \text{ kgf}$$

De acuerdo con la capacidad de carga por cortante, es necesario que el valor del cortante último de diseño sea menor que la resistencia a cortante.

$$V_r > V_U$$

$$65634.03 > 57064.12$$

De la condición anterior, se cumple con lo requerido.

En el diseño de la viga, para el acero transversal, se debe cumplir con el área de acero mínimo, lo cual está definido con la siguiente fórmula.

$$A_{v\_mín} = 0.27 * \lambda * \sqrt{f'_c} * \frac{b_{viga} * S}{f_y}$$

$$A_{v\_mín} = 0.27 * 1 * \sqrt{280} * \frac{30 * 15}{4200} = 0.48 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 * A_{v\_mín} = 2.53 \text{ cm}^2$$

Según la condición, el acero propuesto debe ser mayor al área de acero mínimo.

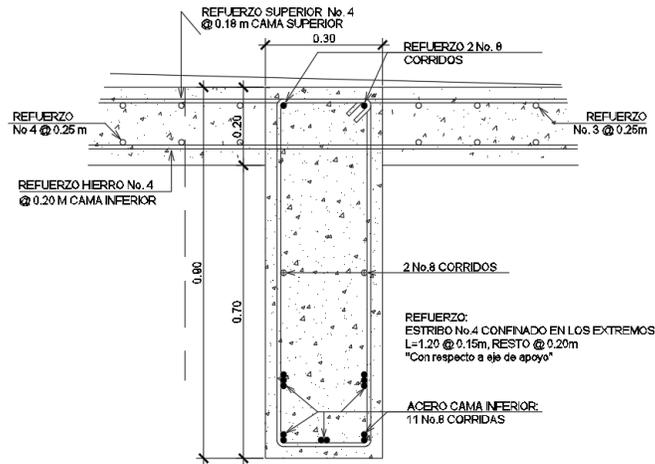
Es necesario considerar el espaciamiento máximo permitido por la normativa:

$$S_{máx} = 0.4 * d_v = 0.4 * 0.75 = 0.29 \text{ m}$$

$$S_{estribos} = 0.15 \text{ m}$$

Según la condición del espaciamiento propuesto, debe ser menor al espaciamiento máximo.

**Figura 23.** Diseño de viga interior

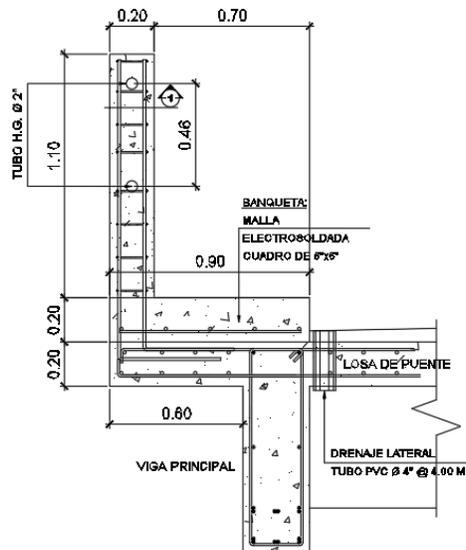


Fuente: Elaboración propia, utilizando AutoCAD 2018.

- Viga principal exterior:

El proceso de cálculo y diseño de la viga exterior es similar a la viga interior, en relación a las dimensiones y las cargas aplicadas, a continuación, se presenta el detalle estructural de las vigas exteriores, con el mismo armado que las vigas interiores.

**Figura 24.** Diseño de viga exterior



Fuente: Elaboración propia, utilizando AutoCAD 2018.

### 3.7.7. Diseño de diafragma interior y exterior

- Diseño diafragma interior:

El diafragma interno es una parte de la estructura que está unida a las vigas y se encarga de transferir las cargas a las vigas principales. Se sugiere utilizar diafragmas tanto internos como externos para el diseño, y se recomienda el uso de acero de acuerdo a la fórmula del acero mínimo.

$$A_{s\_mín} = \frac{\frac{14.1}{\frac{fy}{kg}}}{cm^2} * h_{diaf} * b_{diaf}$$

Según el predimensionamiento realizado en el diseño de las vigas principales, se define las siguientes dimensiones:

$$b_{diaf} = 30 \text{ cm}$$

$$h_{diaf} = 70 \text{ cm}$$

Se calculará la cantidad de acero necesaria para la sección transversal de concreto considerando un recubrimiento de 5.00 cm con varillas número 5, como lo indica la normativa.

$$A_{s\_mín} = \frac{14.1}{4200} * 70 * 30 = 7.05 \text{ cm}^2$$

Para el cálculo de acero se propone varillas número 5.

$$\text{Varillas} = \frac{A_{s\_mín}}{A_{varilla\_5}} = \frac{7.05 \text{ cm}^2}{1.979 \text{ cm}^2} = 4 \text{ varillas}$$

Por proceso constructivo se proponen cuatro varillas en la cama superior e inferior.

En el centro del diafragma, se colocarán las varillas número 5.

$$A_{s\_centro} = 7.05 * \frac{h_{diaf}}{100} = 7.05 * \frac{70}{100} = 3.93 \text{ cm}^2$$

Calculado el área de acero requerido, se obtiene la cantidad de varillas de la siguiente forma:

$$\text{Varillas}_c = \frac{3.93}{1.979} = 2 \text{ varillas}$$

Se proponen 2 varillas número 5 en el centro del diafragma. Ver detalle en planos.

Cálculo de acero por cortante calculado con la siguiente ecuación:

$$A_{s\_mín\_cor} = 0.0015 * h_{diáf} * b_{diáf} = 3.15 \text{ cm}^2$$

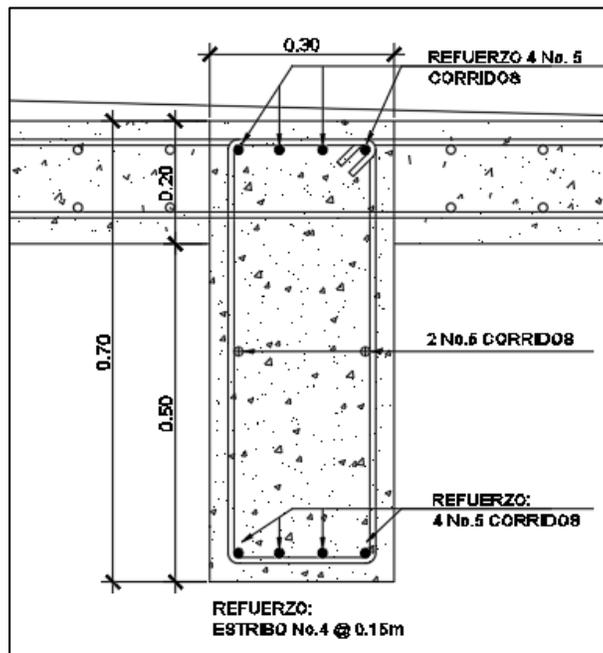
$$\text{Varilla}_{cor} = \frac{3.15}{1.27} = 3 \text{ varillas}$$

Cálculo del espaciamiento mínimo para estribo:

$$S_{mín} = \frac{h_{diáf}}{4} = \frac{70}{4} = 17.50 \text{ cm}$$

$$S_{Propuesto} = 20 \text{ cm}$$

**Figura 25.** Diseño de diafragma interior



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

- Diseño diafragma exterior:

Según el predimensionamiento realizado en el diseño de las vigas principales, se define las siguientes dimensiones:

$$b_{\text{diaf\_ex}}=30 \text{ cm}$$

$$h_{\text{diaf\_ex}}=50 \text{ cm}$$

El recubrimiento a utilizar, según lo estipulado en la norma, será de 5.00 cm con varillas número 5. Sustituyendo los valores en la fórmula de acero mínimo, se obtiene la cantidad de acero para la sección transversal de concreto:

$$A_{s\_mín} = \frac{14.1}{4200} * 50 * 30 = 5.036 \text{ cm}^2$$

Cálculo de acero:

$$\text{Varillas} = \frac{5.036 \text{ cm}^2}{1.979 \text{ cm}^2} = 4 \text{ varillas}$$

Se proponen 4 varillas número 5 en la parte superior e inferior del diafragma. En el centro del diafragma se instalarán las varillas número 5 siguiendo el cálculo correspondiente.

$$A_{s\_centro} = 5.036 * \frac{50}{100} = 2.52 \text{ cm}^2$$

Calculado el área de acero requerido se obtiene la cantidad de varillas de la siguiente forma:

$$\text{Varillas}_c = \frac{2.52}{1.979} = 2 \text{ varillas}$$

Se proponen 2 varillas número 5 en el centro del diafragma.

Cálculo de acero por cortante calculado con la siguiente ecuación:

$$A_{s\_mín\_cor} = 0.0015 * h_{\text{diaf\_ex}} * b_{\text{diaf\_ex}} = 0.0015 * 50 * 30 = 2.25 \text{ cm}^2$$

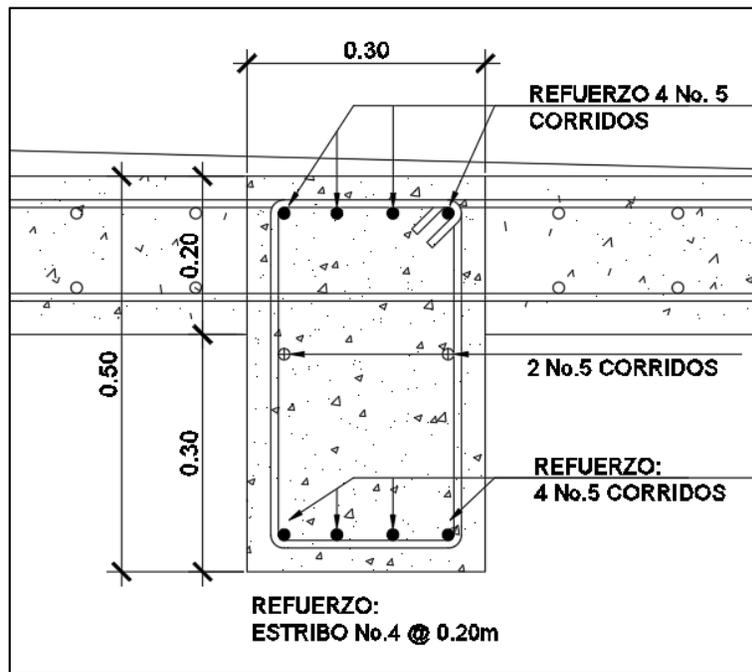
$$\text{Varillas\_cor} = \frac{2.25}{1.27} = 2 \text{ varillas}$$

Cálculo del espaciamiento mínimo para estribo:

$$S_{\text{mín}} = \frac{h_{\text{diaf\_ex}}}{4} = \frac{50}{4} = 13 \text{ cm}$$

$$S_{\text{Propuesto}} = 15 \text{ cm}$$

**Figura 26.** Diseño de diafragma exterior



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

### 3.7.8. Diseño de apoyo de neopreno

Observando las fuerzas generadas en las vigas principales, es posible determinar los valores de las cargas muertas, las cargas concentradas debidas a la carpeta de rodadura y la carga viva multiplicada por un factor de incremento para considerar la carga dinámica.

- Cargas generadas sobre la viga:

$$P_{DC}=9.78 \text{ ton}$$

$$P_{DW}=1.41 \text{ ton}$$

$$P_{LL+IM}=25.99 \text{ ton}$$

El límite de servicio se calcula sumando las distintas cargas, representadas como  $P_T$ , que actúan sobre la estructura.

$$P_T=9.78+1.41+25.99$$

$$P_T=37.37.18 \text{ ton}$$

Para calcular el esfuerzo de compresión necesario para el diseño del dispositivo sísmico, se sigue el procedimiento establecido en el Artículo 14.7.6.3.2-8 del manual elaborado por el ingeniero Arturo Rodríguez Serquén.

$$\sigma_s=87.9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- El área requerida del neopreno:

$$A_{\text{req}}=\frac{P_T}{\sigma_s}$$

$$A_{\text{req}}=\frac{37.18}{87.9}=422.98 \text{ cm}^2$$

Según la condición establecida, el área del dispositivo debe ser mayor que el área necesaria. La superficie del neopreno se calcula considerando que su ancho es igual al valor de la viga, por lo tanto el ancho  $W=30\text{cm}$ .

$$L=\frac{A_{\text{req}}}{W}=\frac{422.18}{30}=14.07 \text{ cm}$$

$$L=25 \text{ cm}$$

Una vez que se hayan tomado las dimensiones del elastómero, se procede a calcular el área para confirmar su condición.

$$A=L*W$$

$$A=25*30$$

$$A=750 \text{ cm}^2$$

La máxima deformación por corte en el dispositivo se determina a partir del cálculo de las temperaturas relevantes para su diseño.

$$t_{\text{superior}}=24^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura superior}$$

$$t_{\text{inferior}}=4^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura inferior}$$

$$t_{\text{instalación}}=25^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura de instalación}$$

- Delta de temperatura:

$$\Delta_t=25^{\circ}\text{C}-4^{\circ}\text{C}=21^{\circ}\text{C}$$

- Coeficiente de dilatación térmica:

$$\alpha(\text{C})=1.2 \times 10^{-6}$$

- Deformación por temperatura:

$$\Delta_{\text{temp}}=L_{\text{puente}} * \Delta_t * \alpha(\text{C})$$

$$\Delta_{\text{temp}}=12*21*1.2*10^{-6}=0.03 \text{ cm}$$

- Deformación por fraguado:

$$\Delta_{\text{retracción}}=0.9 \text{ cm}$$

La norma AGIES (NSE 5.2, 2018) establece que se debe consultar la tabla 3.4.1-1 para determinar el aumento de la resistencia y el servicio de la viga, lo cual permitirá calcular el acortamiento de la viga debido al servicio.

$$Y_{TU}=1.2$$

$$\Delta_S=Y_{TU}*(\Delta_{temp}+\Delta_{retracción})$$

$$\Delta_S=1.2*(0.030+0.9)$$

$$\Delta_S=1.12 \text{ cm}$$

El grosor mínimo del elastómero requerido debe ser calculado considerando las dimensiones del material y su resistencia a la deformación.

$$h_{rt}=2*\Delta_S$$

$$h_{rt}=2*1.12$$

$$h_{rt}=2.25 \text{ cm}$$

- Factor de forma mínimo:

**Tabla 16.** Propiedades del elastómero

Detalle	Dureza (Shore A)		
	50	60	70'
Módulo de corte G @ 23°C (kg/cm <sup>2</sup> )	6.68-9.14	9.14-14.06	14.06-21.09
Deflexión por creep @ 25 años dividida por la deflexión inicial	0.25	0.35	0.45

Fuente: Propiedades del dispositivo, Norma AASHTO.

$$G=9.14 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para calcular el factor de forma de una capa interior, se debe cumplir con la condición 14.7.6.3.2-7 y obtener el valor correspondiente.

$$\sigma_s = \frac{P_T}{A} = \frac{37.18}{750} = 49.57 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Factor de forma mínimo:

$$S_{i\_mínimo} = \frac{\sigma_s}{1.25 \cdot G} = \frac{49.57}{1.25 \cdot 9.14} = 4.34$$

- Grosor de una capa interior del elastómero:

$$h_{ri} = \frac{L \cdot W}{2 \cdot S_{i\_mínimo} \cdot (L + W)}$$

$$h_{ri} = \frac{25 \cdot 30}{2 \cdot 4.34 \cdot (25 + 30)} = 15.71 \text{ mm}$$

La norma establece que el valor definido debe ser menor al valor calculado anteriormente, por lo cual se define en 14 mm.

El factor de forma real se obtiene al determinar el valor de la capa interna del elastómero y luego despejar la fórmula correspondiente.

- Factor de forma para una capa interior:

$$S_i = \frac{L \cdot W}{2 \cdot h_{ri} \cdot (L + W)}$$

$$S_i = \frac{25 \cdot 30}{2 \cdot 14 \cdot (25 + 30)} = 4.87$$

- Condición de factor de forma:

$$S_i \geq S_{i\_mínimo}$$

$$4.87 \geq 4.34$$

Calcular el espesor adecuado de la capa exterior implica tomar el 70% del grosor de la capa interior y aplicarlo en la fórmula proporcionada.

$$h_{re} = 0.7 \cdot h_{ri}$$

$$h_{re} = 0.7 \cdot 14 = 9.8 \text{ mm}$$

Para el espesor de capa interior del elastómero debe estar por debajo del valor calculado anteriormente, por lo cual se propone un espesor de 8 mm:

- Factor de forma para una capa exterior:

$$S_e = \frac{L \cdot W}{2 \cdot h_{re} \cdot (L + W)}$$

$$S_e = \frac{25 \cdot 30}{2 \cdot 8 \cdot (25 + 30)} = 8.52$$

Para determinar cuántas capas interiores se necesitan, se aplica la fórmula general indicada en la norma AASHTO, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$h_{rt} = n \cdot h_{ri} + 2 \cdot h_{re}$$

$$n_1 = \frac{h_{rt} - 2 \cdot h_{re}}{h_{ri}}$$

$$n_1 = \frac{2.25 - 2 \cdot 0.8}{1.4} = 0.46$$

Debido a que la capa exterior es más gruesa que la mitad de la capa interior, se incrementó en un 50% el número de capas interiores por cada capa exterior.

$$n = n_1 + 1 = 2$$

- Cálculo de espesor total de elastómero:

$$h_{rt} = n \cdot h_{ri} + 2 \cdot h_{re}$$

$$h_{rt} = 2 \cdot 1.4 + 2 \cdot 0.8 = 4.4 \text{ cm}$$

Se calculará el espesor de las placas de refuerzo con base en el estado límite de servicio, y se llevará a cabo una revisión adicional para el estado límite de fatiga.

- Propiedades de las placas de acero:

$$f_y = 2530 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Revisión por servicio:

$$\Delta F_{TH} = 1687 \text{ kgf/cm}^2$$

$$h_{\text{máx}} = h_{ri} = 14 \text{ mm}$$

$$h_s = \frac{3 \cdot h_{\text{máx}} \cdot \sigma_s}{f_y}$$

$$h_s = \frac{3 \cdot 1.4 \cdot 49.57}{2530}$$

$$h_s = 0.08 \text{ cm}$$

- Revisión por fatiga:

$$\sigma_L = \frac{P_{LL+IM}}{A}$$

$$\sigma_L = \frac{25.99}{750}$$

$$\sigma_L = 34.65 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El grosor de las capas de esfuerzo se determina utilizando los siguientes valores.

$$h_{s\_FATIGA} = \frac{2 \cdot h_{\text{máx}} \cdot \sigma_s}{f_y}$$

$$h_{s\_FATIGA} = \frac{2 \cdot 1.4 \cdot 49.57}{2530} = 0.06 \text{ cm}$$

$$h_{s1} = 0.8 \text{ mm}$$

$$h_{s2} = \frac{1}{16} \text{ in} = 1.59 \text{ mm}$$

Se sugiere un espesor mínimo de 2 mm para las placas de acero, de acuerdo con la siguiente restricción:

$$h_s \geq h_{s\_mín}$$

$$2 \text{ mm} \geq 1.59 \text{ mm} \quad \text{Cumple}$$

- Altura total del dispositivo:

$$H=h_{rt}+(n+1)*h_s$$

$$H=4.4+(2+1)*0.2$$

$$H=5.00 \text{ cm}$$

- Estabilidad de dispositivo:

La verificación de la altura del dispositivo se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$H \leq \frac{L}{3}$$

$$5 \text{ cm} \leq 8.33 \text{ cm}$$

Cumple

$$H \leq \frac{W}{3}$$

$$5 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm}$$

Cumple

$$\sigma_s = 49.57 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$G = 9.14 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Si el esfuerzo  $\sigma_s$  es menor que  $1.25 * G * S_i$ , entonces se cumple la condición requerida.

$$1.25 * G * S_i = 1.25 * 9.14 * 4.57 = 55.64 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Deformaciones por compresión:

$$\sigma_D = \frac{P_{DC} + P_{DW}}{A}$$

$$\sigma_D = \frac{(9.78 + 1.41)}{750} = 14.92 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para el análisis de la tabla para la curva esfuerzo-deformación, se utilizan los siguientes valores.

$$\sigma_D = 0.2 \text{ ksi}$$

$$\sigma_s = 0.71 \text{ ksi}$$

Factores de forma para capa interior y exterior:

$$S_i = 4.87$$

$$S_e = 8.52$$

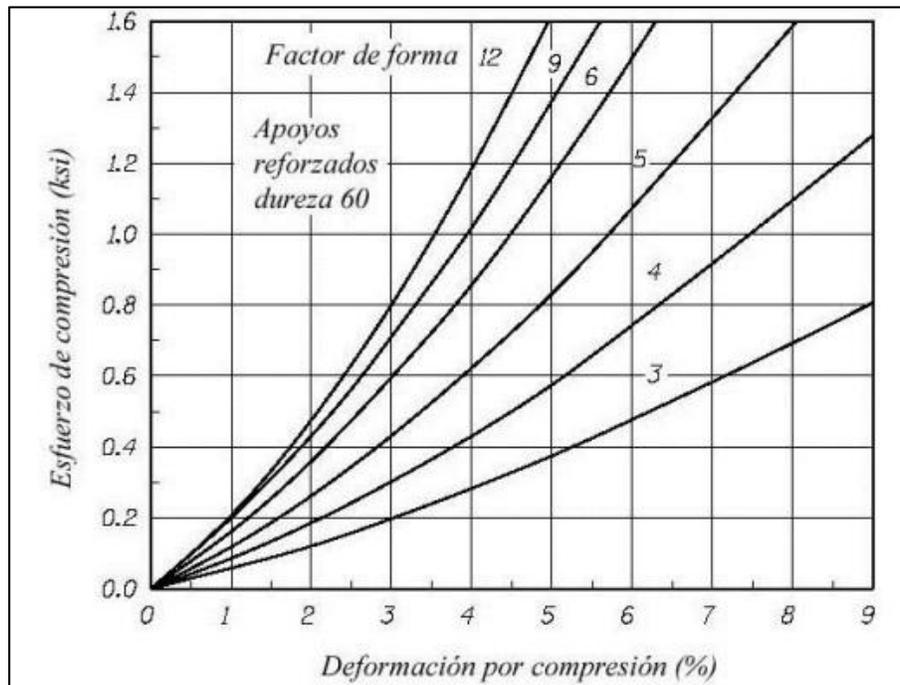
Para el elastómero con dureza 60, se deben tener en cuenta las deformaciones por compresión utilizando los valores obtenidos a partir del diagrama de curva.

**Tabla 17.** Deformaciones por compresión del dispositivo

CAPA	CARGA	S	$\sigma$ (ksi)	$\epsilon$ (%)
Interior	Muerta	4.87	0.24	1.8
	Total	4.87	0.75	4.7
Exterior	Muerta	8.52	0.0.24	1.4
	Total	8.52	0.75	3

Fuente: Tabla de esfuerzo deformación, Normas AASHTO.

**Figura 27.** Curvas esfuerzo deformación



Fuente: Curva de esfuerzo deformación, Norma AASHTO

Por medio de las deformaciones por compresión para elastómero con grado 60, se obtienen los siguientes datos:

- Cálculo de deflexión por compresión inicial del dispositivo:

$$\delta=0.18 \text{ cm}$$

- Deflexión por compresión inicial debido a la carga muerta:

$$\delta_{DC}=0.07 \text{ cm}$$

- Deflexión por compresión inicial debido a la carga viva:

$$\delta_{LL}=\delta-\delta_{DC}=0.18-0.07=0.11 \text{ cm}$$

Deflexión por creep según la referencia (14.7.5.3.6-3):

El valor de la constante "Cd" se determina consultando la tabla 14.7.6.2-1 de propiedades del elastómero de grado 60 según las normas de AASHTO.

$$C_d=0.35$$

- Deflexión por creep:

$$\bar{\delta}_{\text{creep}}=C_d*\bar{\delta}_{\text{DC}}$$

$$\bar{\delta}_{\text{creep}}=0.35*0.07=0.03 \text{ cm}$$

La deflexión debida al comportamiento de fluencia y la carga en vivo muestra que, con esfuerzos de compresión, se cumplen los valores requeridos.

$$\bar{\delta}_{\text{creep\_LL}}=\bar{\delta}_{\text{creep}}+\bar{\delta}_{\text{LL}}$$

$$\bar{\delta}_{\text{creep\_LL}}=0.03+0.11=0.14 \text{ cm}$$

$$\bar{\delta}_{\text{max}}=\frac{1}{8} \text{ in}=0.32 \text{ cm}$$

Se debe cumplir con la siguiente condición de deformación por creep:

$$\bar{\delta}_{\text{creep\_LL}}<\bar{\delta}_{\text{max}}$$

$$0.14 \text{ cm}<0.32 \text{ cm}$$

Cumple

La deflexión originada por la compresión inicial de una capa interior de elastómero, no debe sobrepasar el producto de 0.09 y el grosor h<sub>ri</sub> de dicha capa en el dispositivo.

$$\bar{\delta}_{\text{int}}=0.047$$

Se verifica que la capa interna de elastómero cumple con la deflexión por compresión inicial, según lo establecido en el artículo 14.7.6.3.3 de la norma AASHTO.

$$\bar{\delta}_{\text{int}}<0.09$$

$$0.047<0.09$$

Cumple

- Anclaje del dispositivo:

La norma AASHTO establece en la Tabla 14.7.6.2-1 que la fuerza cortante en el apoyo debido al desplazamiento es la siguiente:

$$G=14.06 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Desplazamiento mayorado:

$$\Delta_U=\Delta_S=1.12 \text{ cm}$$

La ecuación da las fuerzas cortantes producidas en el soporte.

$$H_U=G*A*\frac{\Delta_U}{h_{rt}}$$

$$H_U=14.06*750*\frac{1.12}{4.4}=2.68 \text{ ton}$$

El coeficiente de fricción entre el elastómero y el concreto se considera en la referencia C14.8.3.1.

$$\mu=0.2$$

La fuerza de fricción estática es igual al producto del coeficiente de fricción y la fuerza por carga muerta.

$$F_f=\mu*P_{DC}$$

$$F_f=0.2*9.78=1.96 \text{ ton}$$

- Condición sin anclajes:

La magnitud de la fuerza cortante en un material debe ser inferior a la fuerza de fricción presente.

$$H_U < F_f$$

$$2.68 \text{ ton} < 1.96 \text{ ton}$$

Donde:

$\delta_{\text{creep}}$  Deflexión por creep

$C_D$  Factor para dureza 60

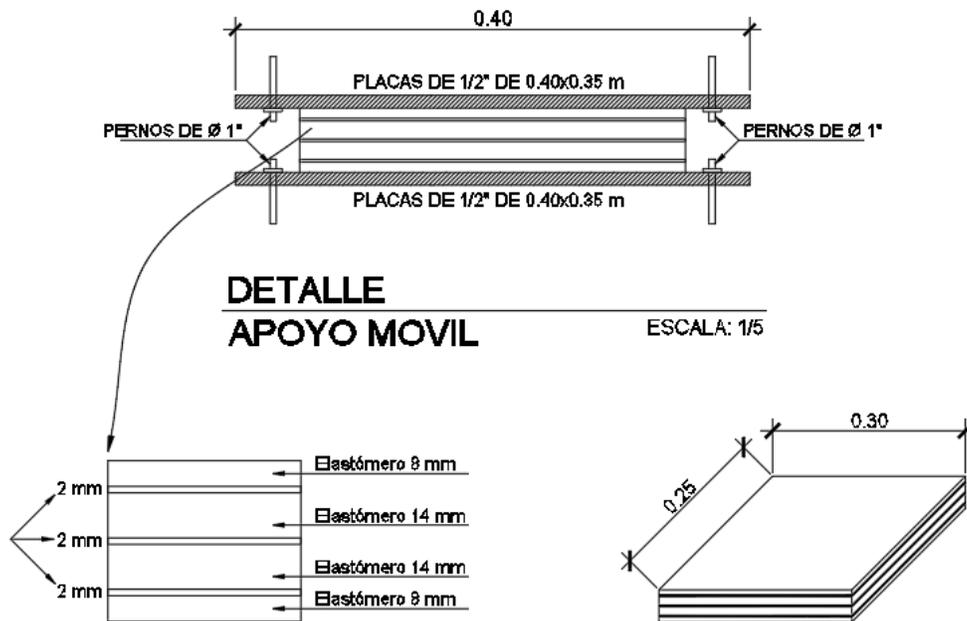
$\Delta_U$  Desplazamiento mayorado

$F_f$  Fuerza de fricción que se desarrolla

$\mu$  Coeficiente de fricción

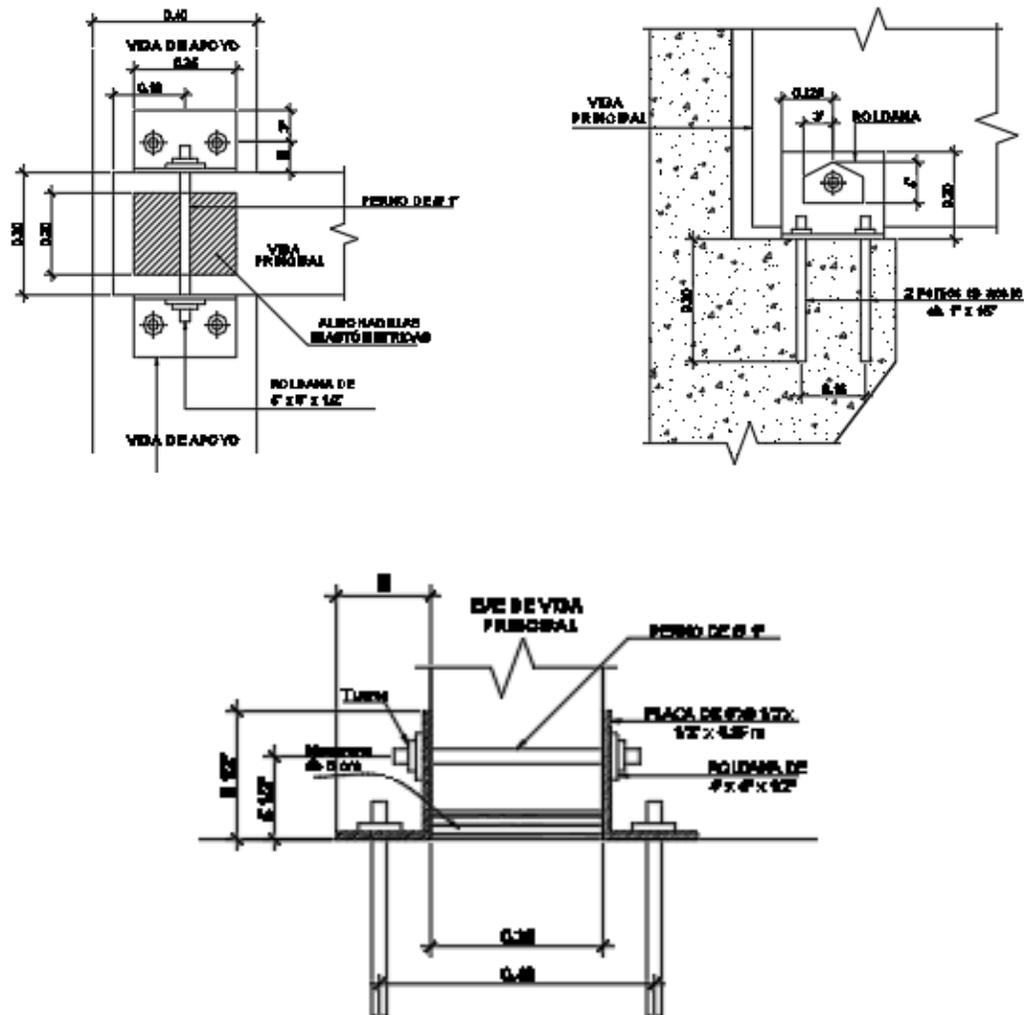
En caso de que no se cumpla esta condición, se recomienda realizar un anclaje con pernos para garantizar una mayor estabilidad en el dispositivo.

**Figura 28.** Detalle dispositivo móvil



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2017.

**Figura 29.** Detalle dispositivo fijo



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2017.

### 3.7.9. Diseño de losa de acceso

Su principal objetivo es conectar de manera eficiente el tráfico vehicular desde la calle hasta el puente, apoyándose en el terreno de acceso con una longitud en cada extremo de 4 metros con un espesor de 0.20 de concreto y armado con varillas número 4 a un espaciamiento de 20 cm en ambos sentidos. La losa de transición se encarga de nivelar ambas superficies del puente y la calle, permitiendo la flexibilidad necesaria para soportar el tráfico.

### **3.8. Diseño de la subestructura**

Es la parte esencial del puente, formada por los estribos en los extremos del puente que se encargan de soportar y transferir las cargas al suelo, además de resistir las fuerzas laterales del relleno.

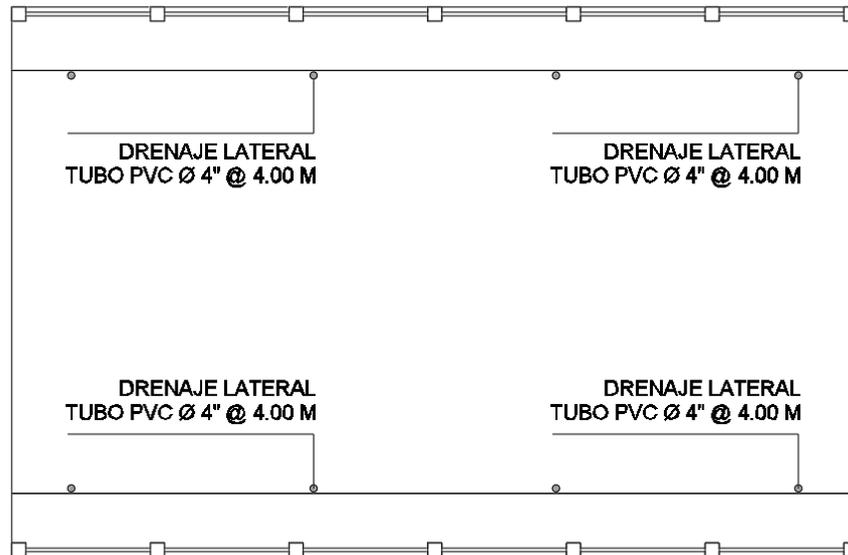
Es fundamental realizar estudios previos antes de diseñar los estribos de un puente. Estos estudios incluyen la investigación de las condiciones del suelo para determinar la capacidad de carga admisible, así como el análisis hidrológico para definir la altura de los estribos en función del caudal de agua que pasa por debajo de ellos.

#### **3.8.1. Diseño de drenaje**

En el diseño del puente, se debe tener en cuenta la ubicación a lo largo de éste y el manejo de aguas pluviales. Es recomendable que la pendiente del drenaje transversal, donde se encuentra la superficie de rodadura, sea de al menos 3%, y en la longitudinal se sugiere un mínimo del 0.5%.

De acuerdo con la normativa, en la construcción de puentes se deben colocar desagües con un diámetro adecuado, fabricados con material anticorrosivo, y su distribución debe ser de tubos de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 4 metros de longitud, con una proyección mínima de 5 cm por debajo de la estructura para prevenir posibles daños por contacto prolongado del agua.

**Figura 30.** Drenaje en la súper estructura



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2017.

### **3.8.2. Período de diseño para puente**

En el diseño de un puente se deben considerar varios aspectos para garantizar su durabilidad y funcionamiento adecuado a lo largo del tiempo. Además, es importante tener en cuenta el mantenimiento que será necesario realizar cuando el puente comience a deteriorarse.

Para el período de diseño del puente se establece, en función de la vida útil que puede variar dependiendo de factores como el tipo de materiales utilizados, las cargas a las que estará sometido, las condiciones ambientales, entre otros. En este caso, el puente tendrá una vida útil de 50 años.

### **3.9. Propuesta del diseño**

Para la propuesta de diseño se muestra los planos constructivos más detalles, conjunto con el presupuesto integrado y desglosado con las especificaciones técnicas y el cronograma de actividades.

### **3.9.1. Especificaciones generales**

Las especificaciones generales en un proyecto de puente vehicular ayudan a garantizar que la obra se lleve a cabo de manera correcta, segura y eficiente, cumpliendo con los estándares de calidad y durabilidad requeridos.

Además, permiten establecer un marco de referencia claro para evaluar el desempeño de los contratistas y supervisores, así como para resolver posibles discrepancias o problemas que puedan surgir durante la ejecución de la obra.

En resumen, las especificaciones generales son fundamentales para asegurar la correcta ejecución y finalización exitosa de un proyecto de carretera, garantizando que se cumplan los estándares de calidad, seguridad y eficiencia establecidos.

### **3.9.2. Especificaciones técnicas**

Las especificaciones técnicas en un proyecto de puente vehicular es establecer los requisitos y estándares que deben cumplirse para garantizar la calidad, seguridad, durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial. Estas especificaciones detallan los materiales, métodos de construcción, pruebas de control de calidad, procedimientos de mantenimiento y cualquier otra información técnica necesaria para asegurar que la carretera cumpla con los estándares y necesidades especificadas en el proyecto. Además, las especificaciones técnicas también ayudan a garantizar la uniformidad en la construcción de carreteras y a asegurar que se cumplan los requisitos legales y normativos aplicables.

### **3.9.3. Elaboración de planos y detalles**

La elaboración de cada plano se fundamenta en cálculos realizados y muestra los detalles con las medidas correspondientes de cada elemento estructural del puente. Esta

información es esencial para que el contratista y el supervisor puedan localizar con precisión los puntos de trabajo en progreso, permitiendo una visualización clara de los diferentes detalles con las escalas adecuadas.

La interpretación de los planos se lleva a cabo para que el usuario pueda entender y ubicar rápidamente los elementos mencionados en cada estructura.

La presentación de los planos se realiza de la siguiente manera.

**Tabla 18.** Planos constructivos puente vehicular

<b>Planos constructivos del puente vehicular</b>	
<b>1</b>	Planta de curvas de nivel
<b>2</b>	Planta de conjunto
<b>3</b>	Corte transversal
<b>4</b>	Planta ubicación de vigas
<b>5</b>	Planta de ubicación de estribos
<b>6</b>	Planta de armado de losa
<b>7</b>	Detalles constructivos

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### **3.9.4. Presupuesto integrado**

El presupuesto, junto con los planos, es fundamental para llevar a cabo el proyecto. En él se detallan los gastos por cada etapa de trabajo, así como los costos de los materiales y la mano de obra calificada, los cuales son cotizados con proveedores locales para fomentar la economía.

El presupuesto se calcula mediante una cuantificación previa y una cotización de materias y mano de obras calificada y no calificada para obtener datos precisos.

Cada renglón posee la cantidad, su unidad de medida, el precio unitario y el precio total.

**Tabla 19.** Presupuesto integrado puente

<b>PRESUPUESTO INTEGRADO</b>					
<b>DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.</b>					
<b>No.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO U.</b>	<b>SUB-TOTAL</b>
1	Trabajos preliminares	93.60	m2	Q 114.00	Q 10,670.40
2	Excavación	355.00	m3	Q 136.00	Q 48,280.00
3	Estribos	15.60	m	Q 36,600.00	Q 570,960.00
4	Relleno de aproche	221.00	m3	Q 440.00	Q 97,240.00
5	Diafragma interior de 0.30m x 0.70m	6.00	m	Q 3,600.00	Q 21,600.00
6	Diafragma exterior de 0.25m x 0.50m	12.00	m	Q 3,270.00	Q 39,240.00
7	Viga principal de 0.30m x 0.90m	48.00	m	Q 6,380.00	Q 306,240.00
8	Apoyo de neopreno (fijo)	4.00	unidad	Q 7,995.00	Q 31,980.00
9	Apoyo de neopreno (móvil)	4.00	unidad	Q 9,555.00	Q 38,220.00
10	Losa de 0.20m de espesor	93.60	m2	Q 2,210.00	Q 206,856.00
11	Banqueta	21.60	m2	Q 2,260.00	Q 48,816.00
12	Juntas de dilatación	15.60	m	Q 1,190.00	Q 18,564.00
13	Baranda	24.00	m	Q 2,550.00	Q 61,200.00
14	Losa de acceso	62.40	m2	Q 2,120.00	Q 132,288.00
15	Medidas de mitigación ambiental	2000.00	unidad	Q 7.00	Q 14,000.00
16	Limpieza final	1.00	unidad	Q 1,950.00	Q 1,950.00
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>Q 1,741,704.40</b>
<b>EL PRESENTE PRESUPUESTO ASCIENDE A LA CANTIDAD DE: UN MILLÓN SETECIENTOS CUARENTA Y UN MIL, SETECIENTOS CUATRO QUETZALES CON 40/100</b>					

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

### **3.9.5. Presupuesto desglosado**

Es un desglose detallado de todos los costos involucrados en un proyecto o actividad. Esto incluye la identificación de cada uno de los elementos que forman parte del presupuesto, como materiales, mano de obra, equipos, servicios, entre otros.

El presupuesto desglosado permite una mayor transparencia y claridad en cuanto a los costos totales y ayuda a identificar las áreas en las que se pueden hacer ajustes o reducciones si es necesario, para mayor detalle se adjunta el presupuesto desglosado en anexos.

### **3.9.6. Cronograma de actividades**

Representa la elaboración de los pasos de trabajo detallados incluyendo la estimación de tiempo para su realización. El tiempo necesario se determina según la complejidad de la tarea, siendo las más complicadas las que requieren más tiempo.

Este cronograma se encarga de garantizar que la ejecución del proyecto tenga un proceso detallado llevando cada renglón de trabajo de manera organizada.



#### **4. DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL EL ASTILLERO, MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.**

##### **4.1. Descripción del proyecto**

El Proyecto es una iniciativa pensada para beneficiar a las comunidades de las aldeas Caxaque y El Rincón, San Marcos, al proporcionarles una vía de comunicación. Consiste en la construcción de una brecha con características de pavimento rígido, diseñada y calculada para soportar diferentes tipos de carga, tanto liviana como pesada. El diseño contempla dos carriles con un ancho libre de 3 metros cada uno, los cuales estarán conformados por la compactación de la subrasante modificada, una base de material granular y la fundición de la carpeta de rodadura de concreto. Este proyecto se centra en realizar una investigación inicial del área de estudio para luego llevar a cabo un análisis detallado que permita proponer las dimensiones adecuadas.

##### **4.2. Medio ambiente**

Se refiere a la evaluación de las posibles consecuencias ambientales de la construcción y operación de un proyecto de carretera, así como a la implementación de medidas para minimizar cualquier impacto adverso al ambiente.

En general, las brechas son beneficiosas para la movilidad, pero en ocasiones pueden generar problemas como la contaminación, que afecta a la calidad del aire, suelo y agua, asimismo al impacto que genera a la deforestación y movilización de suelo. En este caso, se busca reducir estos efectos negativos mediante acciones de mitigación y prevención para proteger el entorno y la salud de las personas.

En el caso de una carretera, es importante evaluar su impacto ambiental para determinar si es significativo o no, a través de un estudio realizado por técnicos autorizados por el Ministerio de Medio Ambiente. Se analizan aspectos como el tamaño y la ubicación del proyecto, así como otros indicadores relevantes observados durante la inspección en terreno. El objetivo es identificar posibles efectos adversos en el entorno y tomar medidas para minimizarlos, garantizando así la sostenibilidad y la protección del medio ambiente.

Se realizarán controles de calidad periódicos para asegurar que los materiales utilizados cumplan con los estándares requeridos.

Planificar el riego regular de agua de manera controlada mientras se realiza la excavación para prevenir la formación de nubes de polvo.

Se llevará a cabo el trabajo únicamente durante el día para evitar molestar a los vecinos durante sus horas de descanso con ruidos.

Se mantendrá una comunicación constante con las autoridades locales para garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes durante todo el proceso de construcción.

El consumo de agua durante el proyecto es mínimo y se prioriza el uso de agua embotellada para los trabajadores, además se promoverá entre el personal la conciencia y el ahorro en el consumo de agua.

Se establecerán medidas de seguridad adicionales, como la instalación de barandillas de protección y la señalización adecuada en las zonas de trabajo para prevenir accidentes.

Se establecerá un sistema de control de calidad riguroso para garantizar que los materiales utilizados en la construcción cumplan con los estándares requeridos.

Se llevarán a cabo inspecciones regulares en la maquinaria utilizada para garantizar su correcto funcionamiento y mantener un ambiente de trabajo seguro.

Se implementarán planes de emergencia y evacuación en caso de ser necesario garantizando la seguridad y el bienestar de los trabajadores y personas cercanas a la obra.

Se verificará regularmente el estado de las herramientas y maquinaria utilizadas en la obra para asegurar su correcto funcionamiento y evitar posibles accidentes.

Se realizarán análisis de suelos previos a la construcción para determinar la calidad y características del terreno, lo que permitirá tomar decisiones adecuadas durante el proceso constructivo.

### **4.3. Levantamiento topográfico**

Es fundamental llevar a cabo un estudio topográfico antes de diseñar una carretera. Este proceso permite obtener mediciones precisas del terreno y detectar cualquier variación en el nivel de la superficie. Se realiza utilizando técnicas de planimetría y altimetría.

#### **4.3.1. Planimetría**

Mediante el uso de la herramienta estación total, se pueden medir con precisión los ángulos y distancias necesarios para trazar una carretera de manera eficiente y segura. La planimetría es esencial para obtener una representación gráfica detallada del terreno en el que se construirá la vía, lo que facilita la planificación y ejecución del proyecto.

### **4.3.2. Altimetría**

Para el proceso de diseño de la brecha, implica la utilización de herramientas como el nivel topográfico para recopilar información precisa sobre la altimetría del terreno. Esto permite crear un perfil altimétrico detallado que muestra las variaciones de elevación a lo largo de la ruta, lo que es crucial para garantizar una construcción segura y eficiente de la carretera.

## **4.4. Ensayos o pruebas en campo y laboratorio**

### **4.4.1. Límites de Atterberg**

Para diseñar la brecha, es necesario realizar un estudio de suelos que permita determinar las propiedades del suelo y prever su comportamiento frente a factores, como la humedad o la carga que soportará la vía. Este análisis incluye la realización de ensayos de laboratorio para establecer los límites de Atterberg, que describen los diferentes estados de consistencia del suelo en función de su contenido de agua.

Determinar el límite de liquidez de un suelo es un paso crucial en la planificación de una carretera, ya que este valor indica la cantidad de humedad a partir de la cual el suelo cambia de estado plástico a líquido. Utilizando ensayos como la caída de cono o la copa de Casagrande, es posible determinar con precisión este límite, lo que resulta crucial para evaluar la plasticidad del suelo y su capacidad de resistencia ante deformaciones.

El límite plástico de un suelo se refiere al contenido de humedad en el que el suelo puede ser moldeado en forma de hilos sin romperse. Este límite se determina mediante pruebas de laboratorio como el ensayo de la caja de flujo o el ensayo de la rodilla de corte, y proporciona información importante sobre la cohesión y plasticidad del suelo.

#### **4.4.2. Tomas de muestras inalteradas con excavación**

El proceso de compactación del suelo es crucial en la construcción de una carretera, ya que garantiza que la capa de base sea lo suficientemente firme y estable para soportar el tráfico vehicular. Mediante el uso de equipos como compactadoras de rodillo, se aplica energía mecánica al suelo para reducir su volumen y aumentar su densidad, mejorando así su capacidad de soporte. La compactación adecuada del suelo es esencial para prevenir asentamientos y deformaciones en la carretera a lo largo de su período de diseño.

#### **4.4.3. Granulometría**

Para llevar a cabo este análisis, se aplicó el método de tamizado. En este procedimiento, se pasa una muestra a través de una serie de tamices con diferentes aberturas de malla. Cada tamiz retiene las piedras de cierto tamaño, mientras que las más pequeñas atraviesan las aberturas.

Una vez completado el tamizado de toda la muestra, se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz. Posteriormente, se calculó el porcentaje de material retenido en cada tamiz en relación al peso total de la muestra. Gracias a estos datos, fue posible determinar la distribución de los diferentes tamaños de piedras presentes en la carretera.

De acuerdo a la clasificación geométrica de carreteras, se puede determinar que la carretera corresponde a una vía principal, con un ancho mayor a 6 metros y con un diseño que incluye múltiples carriles y separadores. Esta clasificación se basa en las características físicas y geométricas de la carretera, como su tamaño, diseño de intersecciones, capacidad de tráfico y velocidad de operación.

Según la clasificación funcional, la carretera se considera una vía de primer orden, destinado a conectar centros urbanos importantes y soportar un alto volumen de tráfico. Esta clasificación también tiene en cuenta su función en la red de transporte, su importancia regional o nacional y su capacidad para facilitar el movimiento eficiente de personas y mercancías.

#### **4.4.4. Porcentaje de humedad**

La carretera ha sido sometida a un análisis de humedad, el cual se lleva a cabo mediante la medición de la humedad presente en el suelo a lo largo de la carretera. Se determina la cantidad de agua en el suelo mediante la pérdida de peso de una muestra después de secarla a una temperatura específica, lo cual permite calcular el porcentaje de humedad de la carretera.

El porcentaje de humedad en la carretera puede variar dependiendo de varios factores, como las condiciones climáticas, el tipo de suelo en el que está construida, el tráfico vehicular y el mantenimiento que recibe. Por lo tanto, se ha realizado un análisis de humedad en la carretera para determinar su nivel de humedad actual.

Tras el análisis, se ha encontrado que el porcentaje de humedad en la carretera es del 15.79%.

#### **4.4.5. Ensayo de valor soporte CBR**

El ensayo de CBR -California Bearing Ratio- sirve para determinar su resistencia a la compresión. El CBR es un método comúnmente utilizado para evaluar la capacidad de una subbase para soportar cargas de tráfico y se expresa como un porcentaje.

El procedimiento de ensayo de CBR implica la aplicación de una carga estática a una muestra de suelo compactado a diferentes niveles de humedad y densidad. Luego

se mide la cantidad de deformación que experimenta la muestra y se calcula el CBR como la relación entre la carga necesaria para producir una cierta deformación en el suelo de la muestra y la carga necesaria para producir la misma deformación en una muestra de suelo estándar.

#### **4.4.6. Ensayo de compactación o Proctor modificado**

El ensayo de Proctor modificado es una prueba de laboratorio utilizada para determinar la densidad máxima que puede alcanzar un suelo y la humedad óptima necesaria para lograrla. Este ensayo se realiza colocando una muestra de suelo en un molde cilíndrico y compactándola en capas sucesivas mediante el uso de un pisón. Luego, se mide la densidad de la muestra compactada y se determina la humedad óptima necesaria para alcanzar la máxima densidad.

La compactación de suelos mediante el ensayo de Proctor modificado se utiliza para garantizar que el suelo tenga la resistencia necesaria para soportar las cargas de una estructura sin sufrir asentamientos excesivos. Además, este ensayo permite evaluar la calidad del suelo y optimizar el diseño de la compactación, asegurando que se cumplan los requerimientos de densidad y humedad especificados en el proyecto.

#### **4.5. Requerimientos de diseño método AASHTO 93**

Se definen los espesores adecuados de la capa base y subbase para resistir las cargas de tráfico previstas en el diseño de la brecha. Se siguen las directrices del manual de diseño para garantizar la resistencia necesaria que proteja contra deformaciones causadas por las cargas.

#### 4.5.1. Tránsito promedio diario TPDA

El principal factor que determinará la medida del pavimento, es la cantidad de tráfico promedio anual en un horario específico. Es importante considerar los siguientes datos: el tráfico se refiere a vehículos livianos como autos, pick ups, microbuses y camiones de un solo eje, así como autobuses, camiones de dos ejes con 6 ruedas (C-2) y camiones tándem de doble eje (C-3).

Debido a que se trata de una brecha, no se puede realizar un conteo de vehículos actuales, sin embargo, según el período de diseño se puede considerar los vehículos que van a circular en la carretera, tanto de características livianas como autos, pick ups y buses, así como de transporte pesado como autobuses o camiones, entre otros.

Se presenta una tabla con los vehículos considerados en el período de diseño tomados en consideración para el diseño del pavimento:

**Tabla 20.** Vehículos livianos

<b>TIPO</b>	<b>CARGA</b>	
<b>Vehículos</b>	<b>Ejes</b>	<b>Peso kg</b>
Autos	Delantero	1500.00
	Posterior	1500.00
Pick ups	Delantero	1500.00
	Posterior	2000.00
Microbuses	Delantero	2000.00
	Posterior	2000.00

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

**Tabla 21.** Vehículos livianos

<b>Camiones</b>		
Autobuses o camiones eje simple	Delantero	5000.00
	Posterior	5000.00
Camiones de 2 ejes 6 ruedas C-2	Delantero	7000.00
	Posterior	10000.00
	Delantero	5000.00
	Tándem	14500.00
Tándem C-3	Tándem	14500.00

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### 4.5.2. Período de diseño

En el diseño del pavimento se tienen en cuenta diversos factores para mejorar las condiciones del suelo a lo largo del tiempo establecido como vida útil. Es importante que ambas condiciones estén relacionadas. Además, se debe considerar el mantenimiento del pavimento una vez que comienza a desgastarse. A continuación, se muestra una tabla con los períodos de diseño, los intervalos de años y los tipos de carreteras correspondientes a diferentes áreas.

**Tabla 22.** Clasificación de vehículos

Tipo	Período de diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15-30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10-20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### 4.5.3. Factor de confiabilidad

Para determinar la desviación normal estándar en el diseño, se emplea este parámetro en función de la categoría de confiabilidad. Se considera el nivel mínimo de confiabilidad requerido para las carreteras colectoras, de acuerdo al tipo de vía que se especifica en la tabla adjunta.

**Tabla 23.** Niveles de confiabilidad para carreteras

Tipo	Niveles de confiabilidad (R)	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	50 – 80

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### 4.5.4. Desviación estándar normal

El manual de diseño de pavimentos en Centroamérica recomienda utilizar valores específicos de desviación estándar dentro de ciertos intervalos, dependiendo de si se trata de una nueva construcción. La tabla proporciona los valores recomendados a utilizar en cada caso, para garantizar la durabilidad y calidad del pavimento.

**Tabla 24.** Desviación estándar normal

1) Niveles de desviación estándar	
Pavimentos flexibles	0.40-0.50
En construcción nueva	0.35-0.40
En sobrecapas	0.5

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### 4.5.5. Coeficiente de drenaje

El pavimento debe ser duradero y tener la capacidad de drenar el agua de manera eficiente incluso en condiciones de saturación. Esto garantiza que mantenga sus propiedades estructurales sin sufrir daños.

La norma AASHTO presenta diferentes valores por medio de una tabla para considerar el coeficiente de drenaje.

**Tabla 25.** Coeficiente de drenaje para pavimento rígido

Calidad del drenaje	P= % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1%-5%	5%-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.1
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.9
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.8
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.7

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel, basados en el AASHTO 1993.

#### 4.5.6. Valores de coeficiente de transmisión de cargas

El pavimento se ha diseñado como reforzado, considerando factores de valores que varían dentro de ciertos intervalos según las necesidades del concreto hidráulico. Estos valores están determinados en función de la intensidad del tráfico, siendo más altos para tráfico pesado y más bajos para tráfico ligero. En este caso, el diseño se ha realizado para una calle con un alto volumen de vehículos en circulación.

**Tabla 26.** Valores de coeficiente de transmisión de carga

<b>Hombro</b>				
Elemento de transmisión de carga				
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
Tipo de pavimento	Si	No	Si	No
No reforzado o reforzado conjuntas	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
Reforzado continuo	2.9-3.2		2.3-2.9	

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel, basados en el AASHTO 1993.

#### **4.6. Diseño de pavimento rígido**

Se calcula el espesor de una plancha de concreto hidráulico fundido in situ, la cual distribuye los esfuerzos al suelo de manera eficiente, es autoportante y requiere una cantidad de concreto controlada.

Este diseño tiene como objetivo determinar el grosor adecuado de la losa para soportar el tráfico de calles y carreteras sin problemas de asentamiento, fisuras o abrasión, garantizando la durabilidad y funcionalidad del proyecto a lo largo de su vida útil. El diseño del pavimento rígido se basa en el método AASHTO 93 e incluye los siguientes factores:

- Tráfico
- Clima
- Nivel de lluvias
- Características del suelo
- Capacidad de carga del suelo
- Confiabilidad
- Servicio.

Se utiliza concreto de resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> y se analizan las variables de la fórmula para prever un comportamiento seguro en la estructura del pavimento.

La ecuación base proporcionada por AASHTO 93 para diseño de pavimento rígido es la siguiente:

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_o + 7.35\text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{ PSI}}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \text{Log}_{10}\left(\frac{M_R C_{dx} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right)$$

$Z_R$  Desviación normal estándar.

$S_o$  Desviación estándar general.

$W_{82}$  Número previsto de ejes equivalentes a 8.2 toneladas métricas a lo largo del período de diseño.

$\Delta \text{ PSI}$  Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$P_t$  Índice de serviciabilidad o servicio final

$M_R$  Resistencia media del concreto a flexotracción a los 28 días.

$C_d$  Coeficiente de drenaje.

$J$  Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

$E_c$  Módulo de elasticidad del concreto.

$K$  Módulo de reacción de la superficie en que se apoya el pavimento.

$D$  Espesor del pavimento de concreto.

**Tabla 27.** Propiedades de los materiales

<b>Propiedades de los materiales</b>	
Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	210.00
Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ (psi)	3000.00
Módulo de elasticidad del concreto $e_c$ (psi)	218819.79
Módulo de rotura $s'c$ (psi)	447.10
Módulo de reacción de la subrasante- $k_c$ (pci)	171.31
Transferencia de carga (j)	3.2
Coeficiente de drenaje (cd)	1.00
Espesor de base (B), pulgadas	7.87
Espesor de base (B), centímetros	20

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

**Tabla 28.** Consideraciones de diseño

Período de diseño (años)	20
Número de ejes equivalentes total (w18)	570,027.00
Serviciabilidad inicial (pi)	4.5
Serviciabilidad final (pt)	2.00
Factor de confiabilidad (r)	60%
Desviación normal estándar (zr)	-0.253
Desviación estándar general (so)	0.35

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

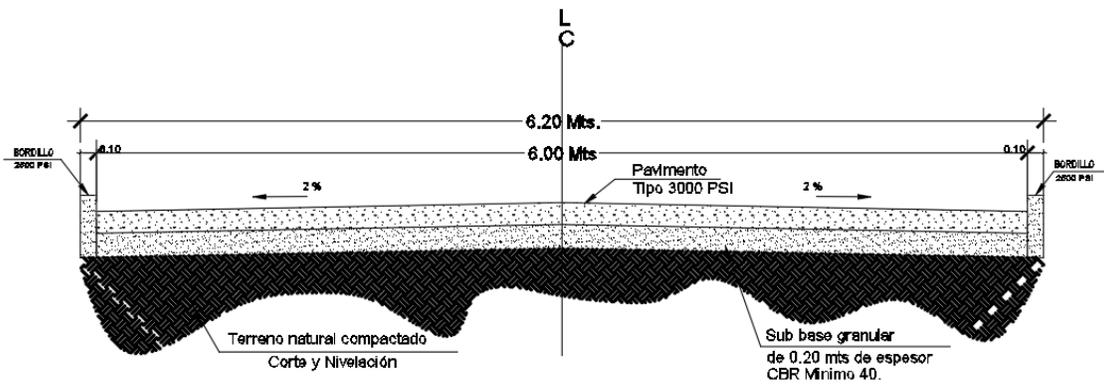
Para determinar el espesor de la losa de pavimento rígido, se utilizan los datos de diseño y las propiedades de los materiales involucrados en su construcción.

Una ecuación empírica relaciona estos datos para obtener el valor D, que corresponde al espesor de la losa.

Debido a la cantidad de variables presentes, resulta difícil despejar la ecuación para determinar el espesor exacto. Por lo tanto, se lleva a cabo una igualdad matemática o se sigue operando hasta que la diferencia sea menor a 1.

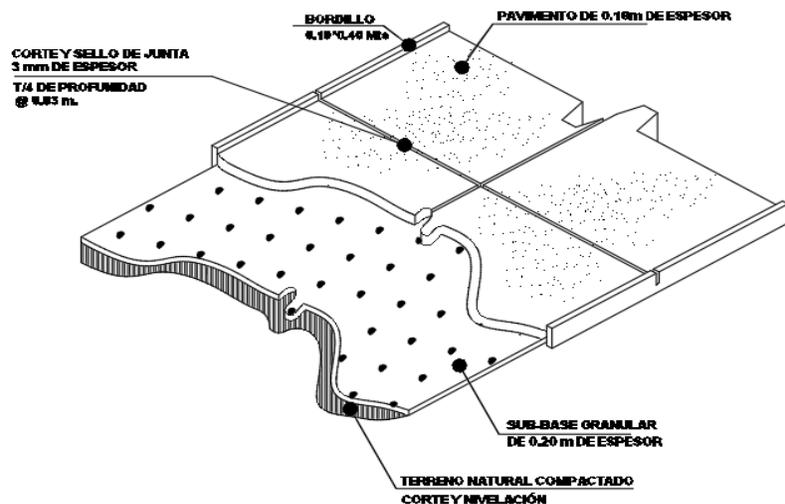
El espesor calculado de la losa de pavimento rígido es de 17 cm, por lo tanto se le adopta un valor de 18 cm, ya que es recomendable en base a proyectos ejecutados en el municipio de San Marcos.

**Figura 31.** Sección transversal del pavimento



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

**Figura 32.** Isométrico de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

#### **4.6.1. Subrasante**

El laboratorio proporciona un resultado de CBR de 3.30% a un 95% basado en la muestra de suelo tomada en el sitio del proyecto. Según este resultado, el suelo se clasifica como regular y puede ser utilizado como subrasante.

#### **4.6.2. Subbase**

Se trata de una capa de material estabilizado que se coloca sobre la subrasante compactada y que sirve como soporte para la losa de concreto, distribuyendo los esfuerzos del tráfico hacia el suelo natural. El material utilizado para la base debe ser más resistente que el suelo natural.

Se ha propuesto utilizar una base granular de 20 cm de espesor, debido a que el CBR es bajo y es necesario mejorar la subrasante. El material seleccionado debe estar libre de material orgánico, piedras grandes, basura y otros materiales que puedan causar daños en el pavimento.

#### **4.6.3. Concreto hidráulico**

Es una combinación de materiales finos, gruesos, cemento Portland, agua y posibles aditivos.

Es perfecto para proyectos que estarán en contacto directo con la humedad, ya que proporciona un rendimiento óptimo en términos de protección y durabilidad, lo que resulta en un bajo mantenimiento.

Además, cumple con los requisitos de resistencia ante factores como el tráfico, el clima, la posición, la construcción y el mantenimiento, soportando los esfuerzos de flexión causados por la carga y la presión de las llantas, así como el radio de influencia y la velocidad del proyecto.

El espesor del pavimento varía entre 15 cm y 30 cm, dependiendo de la calidad de la base y la resistencia de la mezcla de concreto analizada en el diseño del espesor del pavimento.

El costo de mantenimiento es reducido, si la ejecución se realiza de manera adecuada, el pavimento puede alcanzar su vida útil sin sufrir daños significativos.

El uso de concreto hidráulico ayuda a contrarrestar la expansión y contracción excesiva del suelo de la base.

Evita la acumulación de limo y agua en la base, así como el congelamiento de suelos finos.

En este proyecto se utilizará un concreto de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> y un espesor de 18 cm.

Los agregados pétreos no deben contener material orgánico, ni superar el diámetro nominal especificado en el diseño y las especificaciones técnicas.

Una vez fundido in situ, se deberá esperar al menos 28 días antes de permitir el paso de vehículos para alcanzar la resistencia deseada.

#### **4.6.4. Capacidad diseño de velocidad en vehículos**

La selección de las velocidades de diseño para el radio de curvatura se toma en cuenta considerando los siguientes aspectos:

- La visibilidad
- Pendientes
- Carga vehicular y
- Si es área rural o urbana.

En la ley de tránsito, las limitaciones de velocidades pueden ser aplicadas dependiendo del tipo de carreteras.

Para las carreteras que comprenden las rutas departamentales o nacionales, se debe circular con una velocidad máxima de 60 km/h, mientras que en los caminos de área rural se estima una velocidad máxima de 40 km/h. En este caso, para el diseño de la carretera pavimentada, que cuenta con una gran inclinación y curvas muy cerradas, se ha establecido una velocidad mínima de 30 km/h en radios de curvatura mínimos y una velocidad de 40 a 50 km/h en tramos con buena visibilidad.

**Tabla 29.** Velocidad de diseño

<b>VELOCIDADES DE PROYECTO RECOMENDABLES</b>				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa, pero muy escarpada
Tipo especial	110 km/h	110 km/h	80 km/h	80 km/h
Tipo A	70 km/h	60 km/h	50 km/h	40 km/h
Tipo B	60 km/h	50 km/h	40 km/h	35 km/h
Tipo C	50 km/h	40 km/h	30 km/h	25 km/h

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel, según COVIAL.

#### **4.6.5. Diseño de curvas horizontales**

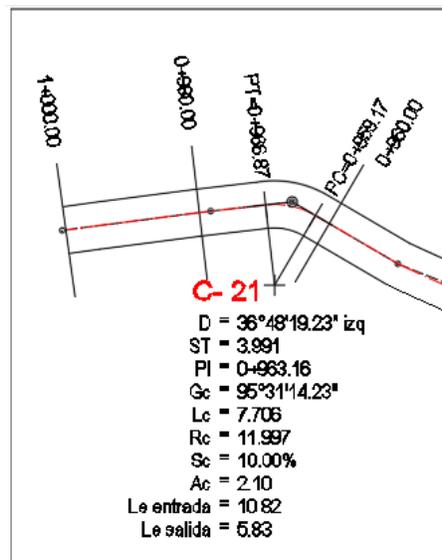
Las curvas verticales se planifican de manera que mantengan una relación uniforme con la velocidad mínima permitida, garantizando así la seguridad adecuada para que los vehículos puedan circular con el radio de giro necesario. En el diseño de la curva se consideran diversos aspectos fundamentales que se detallan a continuación:

El diseño de las curvas horizontales se realiza utilizando el programa de AutoCAD con la herramienta civilCAD, siguiendo las normas establecidas para carreteras.

Se solicita ingresar el tipo de calle y la velocidad mínima permitida, y con base en estos valores se propone el radio de la curva.

Es importante tener cuidado para no exceder el mínimo requerido para considerar el radio de giro de los vehículos. Para ingresar estos datos a una tabla de Excel, se extrajeron algunos datos del levantamiento topográfico, como las distancias horizontales y los ángulos azimutales. Estos datos se extrajeron en los puntos donde era necesario realizar una curva, teniendo en cuenta que hubo partes donde se realizaron cortes en el terreno y el ancho no cumplía con los requisitos. Para extraer la distancia horizontal y, sobre todo, el ángulo azimutal en cada punto, siempre se enfocó la vista hacia el norte, lo cual es indispensable para continuar con la extracción de datos. El Ángulo de inflexión (A) se determina mediante el cálculo del Ángulo azimutal desde el inicio de la distancia horizontal de la curva hasta el punto de inflexión, y luego se toma otro ángulo desde el punto de inflexión hacia la segunda distancia horizontal.

**Figura 33.** Curva horizontal

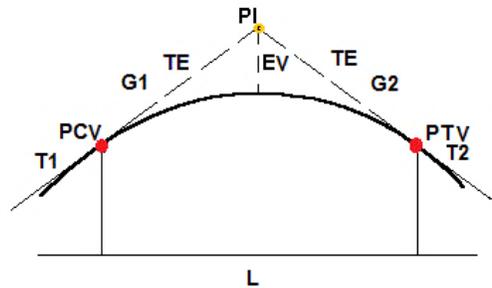


Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

#### 4.6.6. Diseño de curvas verticales

En el diseño se pueden identificar dos tipos de curvas verticales, las cuales fueron consideradas según la topografía.

**Figura 34.** Componentes de curva vertical

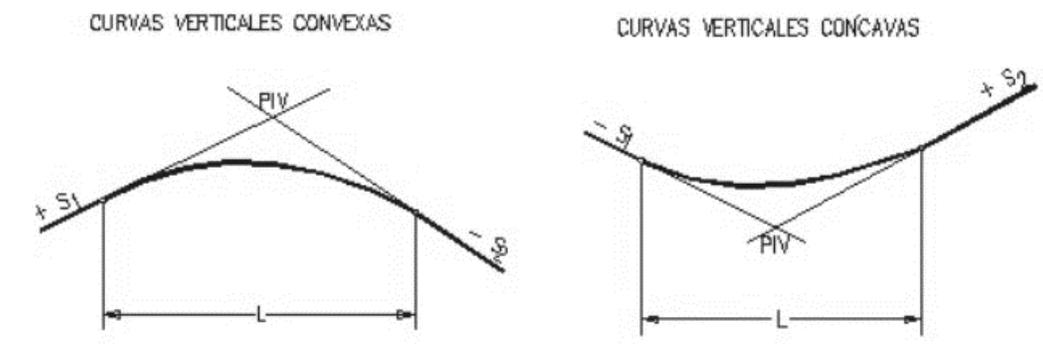


Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

Curvas Verticales Cóncavas o en Columpio: estas curvas se encuentran en las uniones de las pendientes de entrada y salida, caracterizándose por su forma de columpio.

Curvas Verticales Convexas o en Cresta: estas curvas se localizan en las uniones de las pendientes de entrada y salida, teniendo una forma similar a una cresta en la parte superior.

**Figura 35.** Tipos de curvas verticales



Fuente: Elaboración propia, utilizando AutoCAD 2018.

El diseño de curvas verticales se determina a través de la pendiente, evitando las áreas de mayor pendiente y realizando rellenos si es necesario para mantener la continuidad en la subrasante. La línea topográfica representa la subrasante y se diseña encima de ella. Se identifican los puntos críticos de mayor pendiente, que son fundamentales para determinar la medida de la curva.

Una vez diseñada la línea, se determinan las cotas del punto de inicio y final para cada curva, así como las distancias de cada punto para calcular la cantidad de tierra a remover.

La línea topográfica inicialmente representada en un plano horizontal fue necesaria para la elaboración del perfil, extrayendo distancias de eje a eje del punto de inflexión y las cotas del levantamiento topográfico para las 16 curvas verticales.

En el cálculo de la distancia y cota en Excel para cada punto de las curvas verticales, se inicia con las distancias horizontales del punto de inflexión y se toma una cota como referencia para observar los cambios de nivel a lo largo del trayecto.

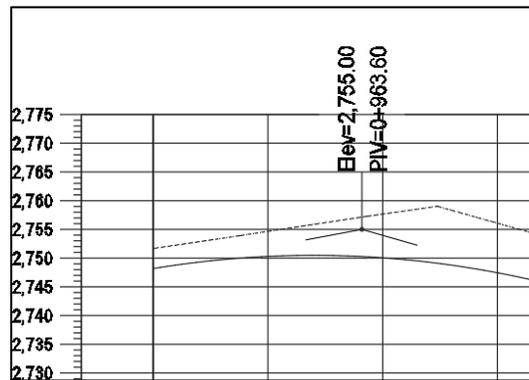
El cálculo de la pendiente consiste en determinar la variación de alturas de una curva específica a una distancia determinada.

Para calcular la pendiente de forma manual, se utiliza la siguiente ecuación:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Extensión de la curva (Lc): se refiere a la distancia recorrida en el diseño de la curva, la cual se establece a lo largo de la línea de diseño proponiendo un ancho horizontal desde el punto de inflexión. Se sugiere que, para cada una de las curvas, las medidas se determinen considerando la facilidad de tránsito vehicular y asegurando que la separación entre la subrasante y la línea de diseño no supere los 0.20 metros.

**Figura 36.** Curva vertical



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

#### **4.6.7. Cortes de la subrasante**

Consisten en la remoción de material del terreno natural, para nivelar y dar forma al terreno.

Por otro lado, los rellenos son la adición de material para elevar o rellenar el terreno con el fin de nivelarlo o compactarlo.

Ambos procesos son comunes y necesarios en la construcción de carreteras, edificaciones y otras obras civiles.

#### **4.7. Elementos de Protección**

Se encargan de asegurar la solidez del proyecto, utilizando técnicas como el sellado de juntas, paredes de contención, rejillas y secciones transversales para garantizar su durabilidad. Además, se implementan bordillos, aceras y señalización para proteger a peatones y conductores y evitar accidentes en la vía pública.

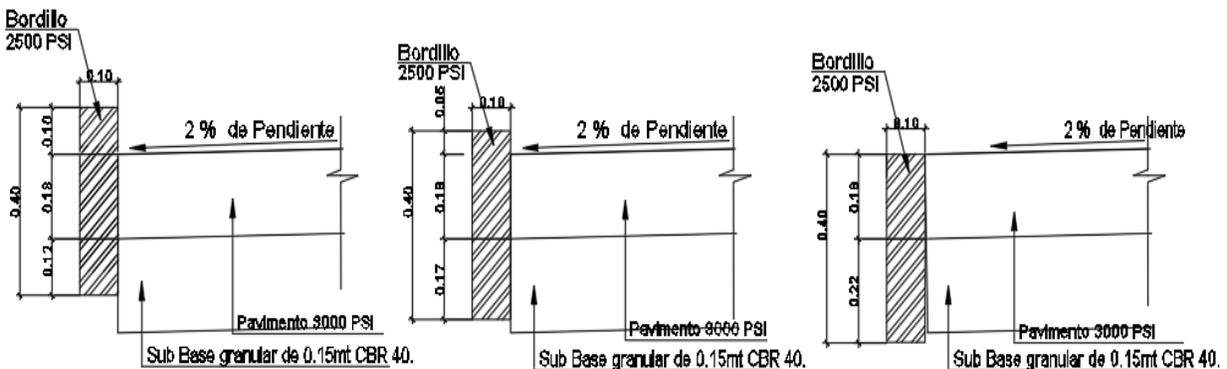
##### **4.7.1. Bordillos**

Se emplean elementos precolados o emitidos en la obra que separan la calle de la acera por donde transitan los peatones, generalmente sobresaliendo entre 10 y 15 cm por encima del nivel de la calle. Se opta por usar un bordillo de concreto simple fundido

en el lugar con una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup>, que se colocará a lo largo de la calle sobresaliendo 15 cm, sin interferir con los accesos de vehículos existentes, ajustando el perfil para adaptarse adecuadamente.

A continuación, se presenta el detalle de los bordillos en tres escenarios diferentes. En el primero, se representa el bordillo normal a lo largo de toda la brecha. En el segundo, se muestra el bordillo diseñado para la entrada de vehículos o calles secundarias. Por último, se encuentra la entrada tipo muerto, donde el bordillo no sobresale del pavimento.

**Figura 37.** Detalle de bordillo



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

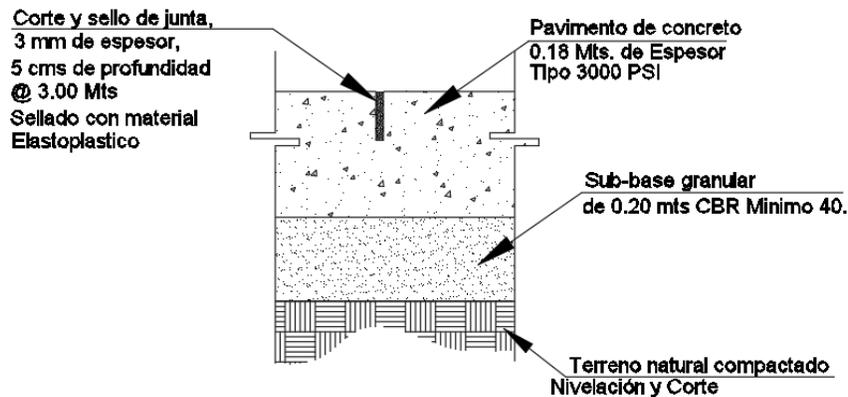
#### 4.7.2. Sello de juntas

Las juntas son importantes para reducir las tensiones generadas por las fuerzas de contracción y expansión debido al tránsito y la temperatura en el pavimento rígido. Estas juntas, tanto transversales como longitudinales, contribuyen a asegurar la durabilidad de la estructura durante su construcción.

Con el fin de prevenir daños causados por la contracción del concreto al fraguar, se instalan juntas de contracción en el pavimento de hormigón. Estas juntas, ubicadas

perpendicularmente a la dirección del tráfico, deben tener un cuarto del espesor de la losa y estar separadas por 3 metros. Se recomienda utilizar un sellante asfáltico elástico en estas juntas para garantizar su eficacia.

**Figura 38.** Sello de juntas



Fuente: Elaboración propia utilizando AutoCAD 2018.

#### 4.7.3. Rejillas

El diseño de un sistema de drenaje en una calle incluye la instalación de una red de rejillas y canales que ayudan a recolectar y canalizar el agua de lluvia hacia un desagüe natural. Esto se logra mediante una inclinación transversal en la vía que permite que el agua fluya hacia los bordes, donde se encuentran las rejillas y canales que la guían hacia el punto más bajo del tramo. El objetivo es evitar daños en el pavimento al garantizar una evacuación rápida y eficiente del agua de lluvia. Aunque no se puede prevenir por completo que el agua se filtre en la unión entre la base y el pavimento, se planifica para gestionar de manera adecuada la evacuación del agua en el sistema de drenaje.

#### **4.7.4. Drenajes**

Es un sistema de drenaje diseñado para recolectar y canalizar el agua de lluvia en la calle hacia un desagüe natural mediante la pendiente del terreno. Se emplea una inclinación transversal del 3% en la vía para que el agua fluya hacia los bordes, donde se forma una escorrentía que es absorbida por rejillas y canales transversales que la dirigen hacia el punto más bajo del tramo, donde desembocan los cauces de agua.

El diseño busca evacuar rápidamente el agua pluvial para evitar daños en el pavimento, garantizando que no se filtre en la unión entre la base y el pavimento de concreto. Aunque no se puede evitar por completo que el agua ingrese a la estructura del pavimento, se planifica para gestionar eficazmente la evacuación de la lluvia.

#### **4.8. Programas de apoyo para cálculo**

Para mejorar la eficiencia en el diseño del pavimento, es posible emplear software específico que ayude en los cálculos requeridos. Estas herramientas informáticas permiten la comparación de la superestructura y subestructura del puente, así como la extracción de datos clave para la fase de construcción. Algunos de los programas más usuales en estos cálculos incluyen:

##### **4.8.1. Datos topográficos en software Excel**

Excel es una herramienta muy apropiada para procesar la información recolectada durante un levantamiento topográfico. En la planificación y diseño de un pavimento, resulta útil utilizar Excel para introducir los datos obtenidos con una estación total y llevar a cabo cálculos mediante fórmulas y ecuaciones matemáticas en el proceso iterativo en líneas de influencia, así como aprovechar las diversas funcionalidades que ofrece el programa.

#### **4.8.2. Uso de AutoCAD Y CIVIL-3D**

El propósito de emplear esta herramienta informática es para mostrar representaciones exactas con medidas precisas utilizando operaciones matemáticas, algo fundamental en el ámbito de la ingeniería. Este software facilita la creación de dibujos al utilizar escalas de medición establecidas. AutoCAD ayuda a ordenar las dimensiones deseadas al generar puntos de referencia topográficos y visualizar la forma a través de coordenadas cartesianas.

Con Civil-3D es posible modelar la topografía de forma precisa a partir de un levantamiento del terreno, permitiendo mostrar las coordenadas en tres dimensiones (X, Y, Z) para representar las variaciones de altitud.

#### **4.9. Propuesta del diseño**

Se presentan los planos de construcción detallados junto con un presupuesto completo y desglosado que incluye las especificaciones técnicas y el cronograma de actividades para la propuesta de diseño.

##### **4.9.1. Especificaciones generales**

Las especificaciones generales en un proyecto de carretera ayudan a garantizar que la obra se lleve a cabo de manera correcta, segura y eficiente, cumpliendo con los estándares de calidad y durabilidad requeridos.

Además, permiten establecer un marco de referencia claro para evaluar el desempeño de los contratistas y supervisores, así como para resolver posibles discrepancias o problemas que puedan surgir durante la ejecución de la obra.

En resumen, las especificaciones generales son fundamentales para asegurar la correcta ejecución y finalización exitosa de un proyecto de carretera, garantizando que se cumplan los estándares de calidad, seguridad y eficiencia establecidos.

#### **4.9.2. Especificaciones técnicas**

Las especificaciones técnicas en un proyecto de carretera es establecer los requisitos y estándares que deben cumplirse para garantizar la calidad, seguridad, durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial. Estas especificaciones detallan los materiales, métodos de construcción, pruebas de control de calidad, procedimientos de mantenimiento y cualquier otra información técnica necesaria para asegurar que la carretera cumpla con los estándares y necesidades especificadas en el proyecto. Además, las especificaciones técnicas también ayudan a garantizar la uniformidad en la construcción de carreteras y a asegurar que se cumplan los requisitos legales y normativos aplicables.

#### **4.9.3. Elaboración de planos y detalles**

La elaboración de cada plano se fundamenta en cálculos realizados y muestra los detalles con las medidas correspondientes de cada elemento que conforma la brecha.

Esta información es esencial para que el contratista y el supervisor puedan localizar con precisión los puntos de trabajo en progreso, permitiendo una visualización clara de los diferentes detalles con las escalas adecuadas.

La interpretación de los planos se lleva a cabo para que el usuario pueda entender y ubicar rápidamente los elementos mencionados en cada estructura.

A continuación, se presentan los planos elaborados para el proyecto de carretera con pavimento rígido:

**Tabla 30.** Planos constructivos pavimento rígido

<b>Planos constructivos de pavimento rígido</b>	
<b>1</b>	Plano de ubicación y localización
<b>2</b>	Planta en conjunto
<b>3</b>	Planta de curvas a nivel
<b>4</b>	Perfiles
<b>5</b>	Planta de caminamiento de 0 a 500m
<b>6</b>	Planta de caminamiento de 500 a 1000m
<b>7</b>	Planta de caminamiento de 1000 a 1300m
<b>8</b>	Detalles constructivos

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### **4.9.4. Presupuestos integrados**

El presupuesto, junto con los planos, es fundamental para llevar a cabo el proyecto de pavimento rígido.

En él se detallan los gastos por cada etapa de trabajo, así como los costos de los materiales y la mano de obra calificada, los cuales son cotizados con proveedores locales para fomentar la economía.

El presupuesto se calcula mediante una cuantificación previa y una cotización de materias y mano de obras calificada y no calificada para obtener datos precisos.

Cada renglón posee la cantidad, su unidad de medida, el precio unitario y el precio total.

**Tabla 31.** Presupuesto integrado pavimento

<b>PRESUPUESTO INTEGRADO</b>					
<b>APERTURA DE BRECHA, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.</b>					
<b>No.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO U.</b>	<b>SUB-TOTAL</b>
1	Trabajos preliminares	9360.00	m2	Q 10.00	Q 93,600.00
2	Corte de talud	35300.00	m3	Q 50.00	Q 1,765,000.00
3	Conformación y compactación de subrasante	9360.00	m2	Q 35.00	Q 327,600.00
4	Base de material granular t=0.20m	9360.00	m2	Q 90.00	Q 842,400.00
5	Pavimento de concreto hidráulico t=0.18m	7800.00	m2	Q 510.00	Q 3,978,000.00
6	Corte y sello de juntas	2604.00	m	Q 30.00	Q 78,120.00
7	Bordillo de concreto de 0.10m x 0.40m	2600.00	m	Q 160.00	Q 416,000.00
8	Llaves de remate de 0.20m x 0.30m	12.40	m	Q 290.00	Q 3,596.00
9	Medidas de mitigación ambiental	7600.00	unidad	Q 8.00	Q 60,800.00
10	Limpieza final	1.00	unidad	Q 15,000.00	Q 15,000.00
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>Q 7,580,116.00</b>
<b>EL PRESENTE PRESUPUESTO ASCIENDE A LA CANTIDAD DE: SIETE MILLONES, QUINIENTOS OCHENTA MIL, CIENTO DIECISEIS QUETZALES CON 00/100</b>					

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

#### **4.9.5. Presupuestos desglosados**

Se trata de una lista detallada de todos los gastos relacionados con un proyecto o una tarea específica. Se incluye la descripción de cada uno de los componentes que conforman el presupuesto, como los materiales, la mano de obra, los equipos, los servicios, entre otros.

El presupuesto detallado brinda una mayor transparencia y claridad en lo referente a los costos totales y ayuda a identificar las áreas en las que se pueden realizar ajustes o reducciones si es necesario. Para obtener más información, se adjunta el desglose del presupuesto en anexos.

#### **4.9.6. Cronograma de actividades**

Se refiere a la planificación de los pasos de trabajo con gran detalle, incluyendo la estimación de tiempo requerido para completar cada uno. La duración de cada tarea se establece en función de su nivel de complejidad, siendo aquellas más complicadas las que demandan más tiempo.

Este cronograma tiene como objetivo asegurar que el desarrollo del proyecto se lleve a cabo de forma meticulosa, siguiendo cada paso de trabajo de manera ordenada.

## CONCLUSIONES

1. El diseño de un puente para vehículos de acuerdo al proyecto, proporciona una solución eficiente y duradera a las necesidades de movilidad de la comunidad, brindando seguridad y conectividad para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.
2. Con la asistencia de herramientas informáticas para la evaluación de los cálculos, se establece que el diseño del puente para automóviles en el proyecto cumple con los requisitos necesarios para facilitar la circulación en zonas previamente inaccesibles, lo que también favorece la conexión con otras comunidades.
3. La planificación urbana en cuanto a la implementación de infraestructura adecuada para el tráfico vehicular, tales como calles pavimentadas con materiales resistentes, se certifica a través de estudios detallados que garantizan la seguridad y eficiencia del proyecto.
4. El diseño de la calle con pavimento rígido y puente vehicular en la comunidad de Aldea Caxaque y Aldea El Rincón, contribuirá al progreso de la zona al realizar el diseño adecuado para la infraestructura y el flujo vehicular de forma efectiva.



## **RECOMENDACIONES**

1. Hacer uso correcto de los planos constructivos, las especificaciones técnicas y el cronograma de avances para garantizar la correcta ejecución del diseño.
2. Construir todos los elementos de protección indicados en planos para evitar accidentes vehiculares y peatonales.
3. Seleccionar el tipo de material más adecuado para el pavimento, teniendo en cuenta factores como el tráfico que soportará el clima de la zona y el presupuesto disponible.
4. Previo a la fase de ejecución, se deberá notificar a los habitantes sobre los trabajos que se están realizando para evitar accidentes en obra.
5. Se recomienda ejecutar el pavimento respetando las consideraciones de diseño como pendiente del terreno, sistema de drenaje, bordillos laterales y espesores definidos en planos constructivos.



## BIBLIOGRAFÍA

Google Earth Pro. (2022).

Weather Spark. (2022). *Clima promedio en San Marcos Guatemala*. Obtenido de <https://acortar.link/7gXE36>

Arequipa, A. (22 de 03 de 2020). *Boletín de Construyendo*. Obtenido de Boletín de Construyendo : <https://www.acerosarequipa.com/download/file/BOLETIN-CONSTRUYENDO-30.pdf>/boletines/archivos/2020-03#:~:text=Esta%20prueba%20de%20consistencia%2C%20llamada,la%20mezcla%20de%20de%20desmoldarlo.

Association, N. N. (16 de 01 de 2017). *CIP 16 - Resistencia a Flexión del concreto*. Obtenido de CIP 16 - Resistencia a Flexión del concreto: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>

Comunitario, J. d. (2022). *Comunidades*. San Marcos, Guatemala.

Gámez, J. (29 de 04 de 2021). *Ensayo Proctor Normal y Proctor Modificado - Aula carreteras*.

Insivumeh. (04 de 12 de 2022). *Informe de Intensidades de Lluvia en Guatemala*. Obtenido de Informe de Intensidades de Lluvia en Guatemala: <https://insivumeh.gob.gt/folletos/INFORME%20de%20intensidades%20de%20lluvia%20Guatemala.pdf>

INGENIEROS CONSULTORES DE CENTRO AMERICA, S. (2020). *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes (pág.307)* En S. INGENIEROS CONSULTORES DE CENTRO AMERICA.

Iturbide, I. j. (01 de 11 de 2002). *Manual Centroamericano*. Guatemala: Ing. Jorge Coronado Iturbide.

Rodríguez, A. (2022). *Puentes con AASHTO LRFD 2020 (9th edition)*. Perú: Ing. Arturo Rodríguez Serquén.



## ANEXO

### Anexo 1. Ensayo de valor soporte del suelo

 <p><b>CIVDO</b> SUELOS Y CONCRETO</p>	<p>2a. AVENIDA "A" 4-16 ZONA 3, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS. PBX (502) 5614-4278 E-mail: lavdo@gmail.com</p>
<p>ENSAYO DE VALOR SOPORTE DEL SUELO NORMA AASHTO T-234</p>	
<p>MUNICIPALIDAD DE SAN MARCOS, SAN MARCOS</p>	
<p>PROYECTO</p>	
<p>APERTURA DE BRECHA Y DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS</p>	
<p>DIRECCION</p>	
<p>ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS</p>	
<p>FECHA: 25 DE OCTUBRE DEL 2023</p>	

FECHA:	
UBICACIÓN:	ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS
ELABORADO PARA:	MUNICIPALIDAD DE SAN MARCOS, SAN MARCOS
ELABORÓ:	ESTUARDO FUENTEZ

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO**

**ESPECIMEN No. 01**

DATOS	Profundidad de desplante, Df (mts.)	1,00
	Peso Volumétrico del Suelo, $\gamma_m$ (Ton/m <sup>3</sup> )	1,55
	Cohesión del suelo, c; (Ton/m <sup>2</sup> )	3,71
	Ángulo de fricción interna del suelo $\phi$ (Grados)	26,30
	Ancho o Radio del cimiento Propuesto, B o R; (mts.)	1,00
	Tipo de suelo	1,00
	Factor de Seguridad, FS	3,00

CALCULOS	Factores dependientes del ángulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	
	Factor de Cohesión, $N_c$	= 6,7714
	Factor de Sobrecarga, $N_q$	= 2,6733
	Factor de piso, $N_\gamma$	= 3,7215

**MÉTODO DE TERZAGHI**

a) PARA CIMIENTO CONTINUO = Capacidad de Carga última,  $Q_c$  :  $Q_c = cN_c + \gamma_m D_f N_q + 0.5 \gamma_m B N_\gamma$

Capacidad de Carga Admisible,  $Q_a$  :  $Q_a = Q_c / FS$

$Q_c$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	48,26
$Q_a$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	16,09

b) PARA CIMIENTO CUADRADO = Capacidad de Carga última,  $Q_c$  :  $Q_c = 1.3cN_c + \gamma_m D_f N_q + 0.4 \gamma_m B N_\gamma$

Capacidad de Carga Admisible,  $Q_a$  :  $Q_a = Q_c / FS$

$Q_c$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	45,01
$Q_a$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	15,00

b) PARA CIMIENTO CIRCULAR = Capacidad de Carga última,  $Q_c$  :  $Q_c = 1.3cN_c + \gamma_m D_f N_q + 0.6 \gamma_m R N_\gamma$

Capacidad de Carga Admisible,  $Q_a$  :  $Q_a = Q_c / FS$

$Q_c$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	46,33
$Q_a$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	15,44

**MÉTODO DE MEYERHOF**

Ecuaación General de la Capacidad de Carga del suelo

$$Q_u = cN_c^* F_{cs} * F_{qs} * F_{cd} * F_{cd} + qN_q^* F_{qs} * F_{qd} * F_{qd} + \frac{1}{2} \gamma_m B N_\gamma^* F_{qs} * F_{qd} * F_{qd}$$

**CIMIENTO CUADRADO**

$F_{cs}$ =	1,80
$F_{qs}$ =	1,55
$F_{ys}$ =	0,60
$F_{cd}$ =	1,36
$F_{qd}$ =	1,27
$F_{yd}$ =	1,00
$F_{cd}$ =	1,00
$F_{qd}$ =	1,00
$F_{yd}$ =	1,00

$Q_u$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	57,19
$Q_a$ (Ton/m <sup>2</sup> ) =	19,06

*[Firma]*  
f) Colegiado Activo



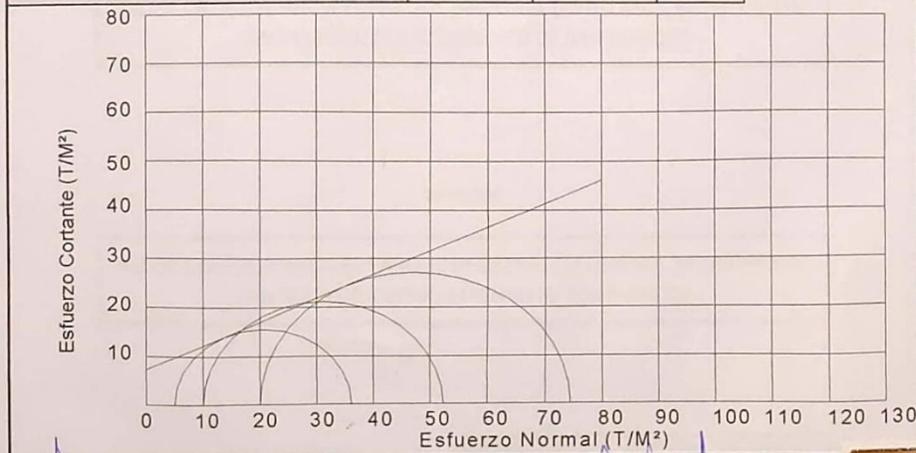
PROYECTO:	APERTURA DE BRECHA Y DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS
UBICACIÓN:	ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS
ELABORADO PARA:	MUNICIPALIDAD DE SAN MARCOS, SAN MARCOS
ELABORÓ:	ESTUARDO FUENTEZ
ASUNTO:	COMPRESIÓN TRIAXIAL
NORMA:	AASHTO T-234
FECHA:	25 DE OCTUBRE DEL 2023

**DATOS TECNICOS**

PROFUNDIDAD 1.50mts.

**PARAMETROS DE CORTE**

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 25.00^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 3.58 \text{Ton/m}^3$		
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Limo Arcilloso con presencia de Roca		
DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA:	2.5" X 5.0"		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por personal de Laboratorio PHI Suelos Concretos		
PROBETA No.	1	2	3
PRESIÓN LATERAL ( $T/m^2$ )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q(T/m^2)$	33,31	40,23	55,11
PRESIÓN INTERSTICIAL $u(T/m^2)$	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA $E_r(\%)$	1,8	2,9	4,8
DENSIDAD SECA ( $T/m^3$ )	1,34	1,39	1,33
DENSIDAD HUMEDA ( $T/m^3$ )	1,55	1,59	1,54
HUMEDAD ( $\%H$ )	15,67%	14,39%	15,79%



EDUARDO HARRISON MÉRICA FUENTEZ  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No 19,908



Fuente: Laboratorio de Suelos y Concreto (CIVDO, 2023).

## Anexo 2. Análisis granulométrico



2a. AVENIDA "A" 4-16 ZONA 3, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS.  
PBX (502) 5614-4278  
E-mail: lavdo@gmail.com

ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM-D421), LIMITES DE ATTERGBER (ASTM-D4318), CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM-D2216) Y CBR (ASTM-D1883)

MUNICIPALIDAD DE SAN MARCOS, SAN MARCOS

### PROYECTO

APERTURA DE BRECHA Y DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS

### DIRECCION

ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS

FECHA:

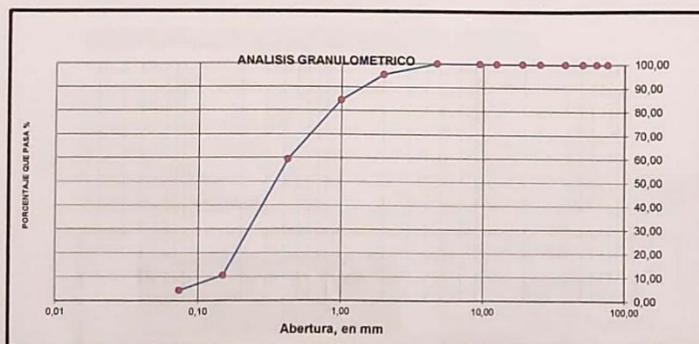
OCTUBRE DEL 2023

APERTURA DE BRECHA Y DISEÑO GEOMÉTRICO Y PUENTE VEHICULAR, DE ALDEA CAXAQUE HACIA EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS  
**PROYECTO:** EL PARQUE REGIONAL (ASTILLERO), MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS  
**SOLICITA:** MUNICIPALIDAD DE SAN MARCOS, SAN MARCOS  
**FECHA:** OCTUBRE DEL 2023

**RESULTADOS DE ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO**

**1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr]	522,700				
Peso Inicial Seco, [gr]	499,700				
Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% RETENIDO	% Retenido Acumulado	% pasa
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,750	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 10	2,000	24,10	4,61	4,61	95,39
Nº 20	1,000	56,30	10,77	15,38	84,62
Nº 40	0,425	131,30	25,12	40,50	59,50
Nº 100	0,150	255,00	48,79	89,29	10,71
Nº 200	0,074	33,00	6,31	95,60	4,40
PLATO	—	23,00	4,40	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>522,70</b>			



$D_{10} = 0,20$        $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 10,00$        $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1,23$   
 $D_{30} = 0,70$   
 $D_{60} = 2,00$

SISTEMA	CLASIFICACION	DESCRIPCION
SUCS	SW	ARENAS BIEN GRADADAS
AASHTO	A1-b (0)	PRINCIPALMENTE ARENAS CON PARTICULAS FINAS DE GRANULOMETRIAS BIEN DEFINIDAS

Fuente: Laboratorio de Suelos y Concreto (CIVDO, 2023).

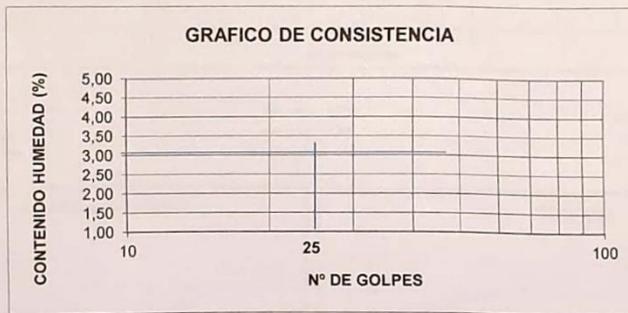
### Anexo 3. Límites de consistencia de Attergber



2a. AVENIDA "A" 4-16 ZONA 3, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS.  
PBX (502) 5614-4278

#### 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)

Procedimiento	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	CONSISTENCIA
	Tara Nº 01	Tara Nº 02	Tara Nº 03	Tara Nº 04	
1. No de Golpes	15	24	34	--	LL = NP
2. Peso Tara, [gr]	26,01	27,05	26,51	28,430	
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	57,46	54,07	53,71	31,130	LP = NP
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	51,46	49,21	49,18	30,730	
5. Peso Agua, [gr]	6,00	4,86	4,53	0,400	IP = NP
6. Peso Suelo Seco, [gr]	25,45	22,16	22,67	2,300	
7. Contenido de Humedad, [%]	23,576	21,931	19,982	17,391	



#### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

Procedimiento	Tara No	Tara No	
1. Peso Tara, [gr]	8,540	9,500	
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	39,36	58,47	
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	209,84	241,90	
4. Peso Agua, [gr]	-170,48	-183,43	
5. Peso Suelo Seco, [gr]	201,30	232,40	PROMEDIO
6. Contenido de Humedad, [%]	-84,690	-78,929	-81,809

**CIVDO**  
Laboratorio de suelos y concreto

Colegiado Activo

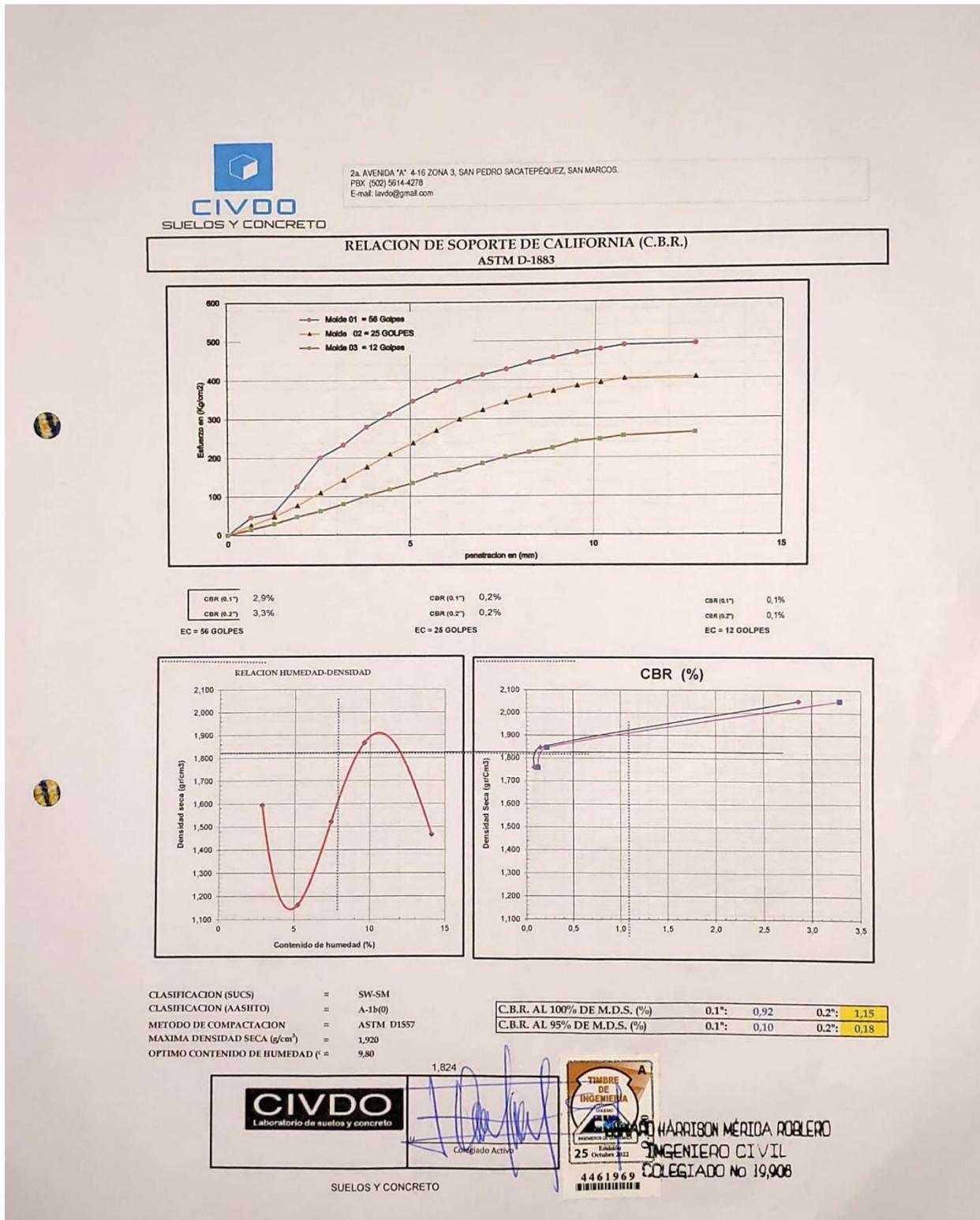
TIMBRE DE INGENIERIA  
INGENIERO DE GUATEMALA  
24 Octubre 2022  
Q-1.000

SUELOS Y CONCRETO

EDUARDO HARRISON MERRILL  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 19,908

Fuente: Laboratorio de Suelos y Concreto (CIVDO, 2023).

## Anexo 4. Relación de soporte de california (CBR)



Fuente: Laboratorio de Suelos y Concreto (CIVDO, 2023).