



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

**PROPUESTA DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ  
DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ,  
MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ**

**Jorge Juan Martín Velásquez Pérez**

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, junio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ  
DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ,  
MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JORGE JUAN MARTÍN VELÁSQUEZ PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**PROPUESTA DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ  
DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ,  
MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 29 de octubre de 2018.



**Jorge Juan Martín Velásquez Pérez**

Guatemala 30 de octubre 2020

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Coordinador, área de hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.


Estimado Ingeniero Aguilar:

Reciba un cordial saludo, esperando que sus labores sean de éxito, por este medio me permito informarle que he asesorado al estudiante JUAN MARTÍN VELÁSQUEZ PÉREZ, quien se identifica con registro universitario 201503763, en su trabajo de graduación que lleva por título "PROPUESTA DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ"

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante haberlas realizado, APRUEBO este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posteriormente a su aprobación final.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Asesor

**Claudio César Castañón Contreras**  
Ingeniero Civil  
Col. 5,629



Guatemala, 30 de octubre de 2,020

Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Aguilar Polanco:

Le informo que he revisado El trabajo graduación, **PROPUESTA DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Jorge Juan Martín Velásquez Pérez**, CUI: 3000 46685 010, Registro Académico: 201503763, quien contó con la asesoría de **el Ing. Claudio César Castañón Contreras**, considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
U S A C

**Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa**  
Revisor del Departamento de Hidráulica

/remo





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Claudio César Castañón Contreras y del Revisor del Departamento de Hidráulica Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa al trabajo de graduación del estudiante Jorge Juan Martín Velásquez Pérez **PROPUESTA DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca  
Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, junio 2021

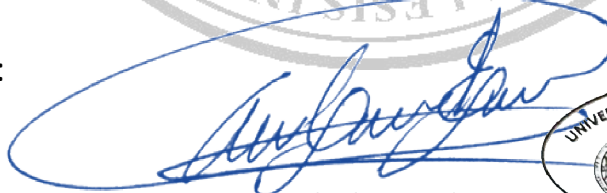
/mrrm.



DTG. 260.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES EN EL RÍO CHITÁ DESDE EL PUENTE DE LA ANTIGUA LÍNEA FÉRREA HASTA EL PUENTE CHITÁ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ,** presentado por el estudiante universitario: **Jorge Juan Martín Velásquez Pérez,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, junio de 2021

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Eduardo Velásquez y Patricia Pérez, quienes con su esfuerzo, ejemplo y amor me brindaron todas las facilidades para completar mis estudios universitarios y a quienes debo la persona que soy.

### **Mi abuela**

Martha Lucas, quien desde el día uno de emprender este camino no tenía ni una duda de que lo lograría.

### **Mis hermanos**

Manuel, Luis y Santiago, por haberme apoyado y ser fuente de alegría en el día a día.

### **Mi familia**

A todos mis primos y tíos, por todo el cariño, consejos y apoyo brindado durante este trayecto.

### **Mis amigos**

Por todos los momentos inolvidables compartidos en estos años.

### **Mi novia**

Ximena Soto, por haberme apoyado en todo momento y creer en mí.

### **Mi primo**

Juan Sebastián Velásquez (q. e. p. d.), por todos los recuerdos inolvidables que dejó en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme sus puertas y ser fuente de conocimiento.
<b>Ing. Byron Vargas</b>	Por todo el apoyo y los conocimientos compartidos para desarrollarme en mi carrera profesional y la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Ing. Claudio Castañón</b>	Por el apoyo y tiempo brindado para asesorarme durante la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Ing. Manuel Arango</b>	Por compartir sus conocimientos y su apoyo brindado en este proceso.
<b>Bdoble Vdoble, S.A.</b>	Por la confianza y todos los conocimientos que he adquirido durante estos años.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1. Ciclo hidrológico .....	1
1.1.1. Condensación y precipitación .....	2
1.1.2. Evaporación.....	3
1.1.3. Transpiración.....	3
1.1.4. Infiltración .....	3
1.2. Cuencas hidrográficas.....	4
1.2.1. Elementos de una cuenca .....	4
1.2.1.1. Parteaguas .....	4
1.2.1.2. Área de la cuenca.....	5
1.2.1.3. Corriente principal.....	5
1.2.2. Tipos de cuencas.....	5
1.2.2.1. Cuencas endorreicas.....	5
1.2.2.2. Cuencas exorreicas .....	6
1.3. Hidrografía de Guatemala .....	6
1.4. Componentes básicas del riesgo.....	8
1.4.1. Riesgo .....	8
1.4.2. Amenaza.....	8

1.4.3.	Vulnerabilidad.....	8
1.4.4.	Desastre .....	9
1.4.5.	Inundación.....	9
1.5.	Evaluación del riesgo de los pobladores del cantón Chitá por amenazas hidrometeorológicas .....	9
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA MICROCUENCA .....	11
2.1.	Ubicación geográfica.....	11
2.2.	Delimitación de la microcuenca.....	12
2.3.	Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca.....	13
2.3.1.	Datos base de la cuenca de estudio .....	14
2.3.2.	Forma de la cuenca.....	14
2.3.2.1.	Índice de Gravelius.....	14
2.3.2.2.	Factor de forma .....	15
2.3.3.	Características del relieve .....	16
2.3.3.1.	Pendiente media de la cuenca .....	16
2.3.3.2.	Histograma de frecuencias altimétricas .....	17
2.3.3.3.	Curva hipsométrica .....	18
2.3.3.4.	Pendiente del cauce principal.....	19
2.3.4.	Características de la red de drenaje.....	20
2.3.4.1.1.	Orden de las corrientes .....	20
2.3.4.2.	Relación de bifurcación .....	21
2.3.4.3.	Relación de longitud.....	21
2.3.4.4.	Densidad de drenaje .....	22
2.3.4.5.	Frecuencia de cauces .....	22

3.	ANÁLISIS DE CRECIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	25
3.1.	Concepto climatología .....	25
3.1.1.	Regiones climáticas de Guatemala .....	25
3.1.2.	Región de bocacosta .....	27
3.2.	Método racional .....	28
3.2.1.	Determinación de la intensidad de lluvia .....	29
3.2.2.	Cálculo de coeficientes de escorrentía .....	31
3.2.3.	Caudales máximos .....	35
3.3.	Análisis regional de crecidas .....	36
3.3.1.	Cálculo de caudales máximos .....	37
4.	MODELACIÓN HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS .....	41
4.1.	Conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos .....	41
4.1.1.	Tipos de flujo en canales abiertos .....	41
4.1.1.1.	Flujo permanente .....	41
4.1.1.2.	Flujo no permanente .....	42
4.1.2.	Número de Froude.....	42
4.1.3.	Coeficiente de rugosidad de Manning .....	43
4.1.4.	Energía específica .....	43
4.2.	Introducción al programa HEC-RAS.....	44
4.2.1.	Datos de geometría .....	45
4.2.1.1.	Levantamiento topográfico .....	45
4.2.1.2.	Datos de sección transversal.....	49
4.2.2.	Datos de flujo permanente.....	50
4.2.2.1.	Condiciones de contorno .....	51
4.2.3.	Análisis de flujo permanente.....	52
4.2.4.	Simulación hidráulica con HEC-RAS del río Chitá..	52

4.2.5.	Resultado de datos tabulados de características hidráulicas de las secciones transversales del río Chitá.....	53
4.2.6.	Resultado secciones transversales del río Chitá con caudales de períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100.....	56
4.2.7.	Interpretación de simulación hidráulica .....	60
5.	PROPUESTA DE LA OBRA DE PROTECCIÓN.....	65
5.1.	Descripción de las obras de protección.....	65
5.1.1.	Objetivos de las obras de protección en un cauce.....	65
5.1.2.	Efectos de las obras de protección en un cauce .....	66
5.1.3.	Obras transversales para control de inundaciones .....	67
5.1.3.1.	Diques transversales.....	67
5.1.3.2.	Diques transversales con nuevas funciones .....	68
5.1.4.	Obras longitudinales para control de inundaciones .....	69
5.1.4.1.	Gaviones .....	69
5.1.4.2.	Espigones.....	70
5.1.4.3.	Diques marginales.....	71
5.1.4.4.	Enrocado de protección .....	72
5.2.	Análisis y propuesta del caso.....	72
5.3.	Diseño de la obra de protección.....	76
5.3.1.	Extensión longitudinal de la protección .....	77
5.3.1.1.	Tramos por proteger.....	78
5.3.1.2.	Tamaño de la roca .....	79

5.3.2.	Extensión vertical.....	84
5.3.2.1.	Altura de la borda .....	84
5.3.2.2.	Borda libre .....	85
5.3.2.3.	Profundidad de erosión.....	85
5.3.2.4.	Profundidad del pie de cimentación .....	87
5.3.3.	Espesor de la obra.....	88
5.3.4.	Diseño del filtro .....	88
5.3.5.	Sección típica .....	90
5.3.6.	Especificaciones técnicas de la roca .....	92
6.	RECTIFICACIÓN HIDRÁULICA CON LAS OBRAS DE PROTECCIÓN .....	95
6.1.	Creación de nueva superficie con obras propuesta implementadas para simulación hidráulica .....	95
6.1.1.	Elementos para crear un corredor .....	95
6.1.1.1.	Creación de subensamblaje .....	96
6.1.2.	Creación de corredor y nueva superficie .....	98
6.2.	Simulación hidráulica en HEC RAS con las obras implementadas .....	101
6.3.	Conclusiones de la simulación hidráulica en HEC RAS .....	106
	CONCLUSIONES .....	107
	RECOMENDACIONES .....	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	113
	APÉNDICES .....	115





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ciclo del agua .....	2
2.	Parteaguas de una cuenca .....	4
3.	Tipo de cuencas .....	6
4.	Vertientes de Guatemala.....	7
5.	Ubicación geográfica de la mcrocuenca del río Chitá .....	12
6.	Delimitación de subcuencas.....	13
7.	Histograma de frecuencias altimétricas.....	18
8.	Curva hipsométrica .....	19
9.	Orden de la cuenca .....	20
10.	Regiones climáticas de Guatemala.....	27
11.	Áreas delimitadas según el uso del suelo .....	32
12.	Regiones hidrológicas .....	37
13.	Tramo del río en análisis .....	46
14.	Estación total Kolida KTS-442Rc .....	47
15.	Inicio en puente de la antigua línea férrea .....	48
16.	Toma de puntos .....	49
17.	Clasificación sección transversal en HEC-RAS .....	50
18.	Sección transversal estación 0+200,00.....	57
19.	Sección transversal estación 0+400,00.....	57
20.	Sección transversal estación 0+600,00.....	58
21.	Sección transversal estación 0+800,00.....	58
22.	Sección transversal estación 1+000,00.....	59
23.	Sección transversal estación 1+200,00.....	59

24.	Sección transversal estación 1+400,00 .....	60
25.	Planicie de inundación período de retorno 2 años .....	61
26.	Planicie de inundación período de retorno 100 años .....	62
27.	Función de los diques transversales.....	68
28.	Diques transversales con nuevas funciones.....	69
29.	Muros de gaviones.....	70
30.	Espigones .....	71
31.	Enrocado de protección .....	72
32.	Características aluviales río Chitá (A).....	73
33.	Características aluviales río Chitá (B).....	74
34.	Márgenes del río Chitá (A).....	75
35.	Márgenes del río Chitá (B).....	75
36.	Márgenes del río Chitá (C).....	76
37.	Extensión longitudinal de la protección.....	77
38.	Profundidad de erosión.....	86
39.	Profundidad del pie de cimentación .....	87
40.	Sección típica para tramos 1 y 2.....	90
41.	Sección típica tramo 3 .....	91
42.	Sección típica tramo 4 .....	91
43.	Sección típica tramo 5 .....	92
44.	Creación de subensamblaje .....	97
45.	Creación de corredor .....	98
46.	Creación de nueva superficie .....	99
47.	Creación de borde de la superficie .....	100
48.	Sección transversal estación 0+200,00 .....	101
49.	Sección transversal estación 0+400,00 .....	102
50.	Sección transversal estación 0+600,00 .....	102
51.	Sección transversal estación 0+800,00 .....	102
52.	Sección transversal estación 1+000,00 .....	103

53.	Sección transversal estación 1+200,00.....	103
54.	Sección transversal estación 1+400,00.....	103
55.	Planicie de inundación período de retorno de 100 años con bordas implementadas.....	104
56.	Planicie de inundación periodo de retorno de 100 años post borda paralela al tramo 3.....	105

## TABLAS

I.	Datos base de la cuenca.....	14
II.	Datos de área entre curvas de nivel a cada 100m.....	17
III.	Datos de la red de ríos de la microcuenca del río Chitá.....	21
IV.	Parámetros A, B y n de la estación meteorológica Retalhuleu.....	30
V.	Intensidades de lluvia.....	31
VI.	Valores del coeficiente de escorrentía.....	33
VII.	Valores de C para zonas urbanas.....	33
VIII.	Cálculo del coeficiente de escorrentía.....	35
IX.	Caudales máximos.....	36
X.	Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas. N es el número de estaciones utilizadas, B y n son parámetros de ajuste de la Ec. $QMM=B A^n$ (A=área de la cuenca).....	38
XI.	Cuantiles de caudales modulares regionales, K, de acuerdo con las distribuciones de Gumbel y log-normal.....	39
XII.	Resumen de cálculos para estimar caudales máximos.....	39
XIII.	Características hidráulicas estación 0+200,00.....	53
XIV.	Características hidráulicas estación 0+400,00.....	54
XV.	Características hidráulicas estación 0+600,00.....	54
XVI.	Características hidráulicas estación 0+800,00.....	55
XVII.	Características hidráulicas estación 1+000,00.....	55

XVIII.	Características hidráulicas estación 1+200,00.....	56
XIX.	Características hidráulicas estación 1+400,00.....	56
XX.	Tramos por proteger .....	78
XXI.	Longitudes totales de las bordas .....	79
XXII.	Ángulo de reposo para distintos materiales .....	80
XXIII.	Factor de estabilidad.....	82
XXIV.	Velocidad y profundidad media en el río .....	83
XXV.	Tamaño de roca.....	83
XXVI.	Peso medio de la roca .....	84
XXVII.	Tirantes máximos por tramo .....	85
XXVIII.	Profundidad de erosión.....	86
XXIX.	Profundidad del pie de cimentación .....	88
XXX.	Resultados diseño del filtro .....	89

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad
<b>Z</b>	Altura de la cota referenciada
<b>H<sub>max</sub></b>	Altura máxima del cauce
<b>H<sub>min</sub></b>	Altura mínima del cauce
<b>Θ</b>	Ángulo de la obra de protección con la horizontal
<b>Φ</b>	Ángulo de reposo del enrocado
<b>A</b>	Área de la cuenca
<b>Q</b>	Caudal máximo en m <sup>3</sup> /s
<b>Q<sub>tr</sub></b>	Caudal para el periodo de retorno
<b>α</b>	Coeficiente de Coriolis
<b>C</b>	Coeficiente de escorrentía
<b>K<sub>1</sub></b>	Constante adimensional
<b>QMM</b>	Crecida índice
<b>D<sub>n</sub></b>	Densidad de drenaje
<b>H</b>	Desnivel del cauce
<b>E</b>	Energía específica
<b>D</b>	Equidistancia entre curvas de nivel
<b>SF</b>	Factor de estabilidad
<b>K<sub>f</sub></b>	Factor de forma
<b>F</b>	Frecuencia de cauces
<b>S<sub>s</sub></b>	Gravedad específica de la roca
<b>I</b>	Intensidad de lluvia en mm/h
<b>Km</b>	Kilómetro

<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>L<sub>t</sub></b>	Longitud de todos los cauces
<b>L</b>	Longitud del cauce principal
<b>L<sub>i</sub></b>	Longitud promedio de los cauces de orden i
<b>L<sub>L</sub></b>	Longitud total de las curvas de nivel
<b>m</b>	Metros
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>mm/h</b>	Milímetros por hora
<b>N<sub>i</sub></b>	Número de cauce de orden i
<b>Fr</b>	Número de Froude
<b>S<sub>m</sub></b>	Pendiente del cauce principal
<b>S</b>	Pendiente media de la cuenca
<b>P</b>	Perímetro de la cuenca
<b>W<sub>50</sub></b>	Peso medio de la roca
<b>L<sub>h</sub></b>	Profundidad hidráulica
<b>D<sub>av</sub></b>	Profundidad promedio del flujo en el canal principal
<b>Y</b>	Profundidad del agua
<b>R<sub>B</sub></b>	Relación de bifurcación
<b>R<sub>L</sub></b>	Relación de longitud
<b>D<sub>50</sub></b>	Tamaño promedio de la roca
<b>tc</b>	Tiempo de concentración
<b>V</b>	Velocidad media del flujo
<b>V<sub>a</sub></b>	Velocidad promedio en el canal principal

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte ( <i>American Association of State Highway and Transportation</i> ).
<b>Canal abierto</b>	Es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica.
<b>Cauce</b>	Concavidad del terreno por donde circula cualquier corriente de agua.
<b>Caudal</b>	Cantidad de agua que lleva una corriente por unidad de tiempo.
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
<b>Crecida</b>	Elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor al flujo promedio de este.
<b>Cuenca</b>	Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural.
<b>Dragado</b>	Operación de limpieza y ahondamiento de un cuerpo de agua, con el objetivo de aumentar la capacidad hidráulica del mismo.

<b>Erosión</b>	Desgaste producido en la superficie de un cuerpo por la acción del viento, la lluvia, procesos fluviales, marítimos y glaciales, y por la acción de los seres vivos.
<b>HEC-RAS</b>	<i>Hydrologic Engineering Center River Analysis System</i> (Centro de ingeniería hidrológica sistema de análisis de ríos).
<b>Hidrología</b>	Ciencia que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.
<b>Hidráulica</b>	Ciencia que estudia las propiedades mecánicas de los fluidos.
<b>Insivumeh</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>Inundación</b>	Ocupación por parte del agua de zonas habitualmente libres de esta.
<b>Limnómetro</b>	Instrumento utilizado para medir las variaciones de nivel de la superficie de agua.
<b>Mitigación</b>	Conjunto de medidas que a tomar para contrarrestar o minimizar impactos ambientales negativos.



<b>Morfometría</b>	Conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno.
<b>Periodo de retorno</b>	Representación utilizada comúnmente para presentar un estimativo de probabilidad de ocurrencia de un evento determinado.
<b>Pendiente</b>	Inclinación de un elemento lineal, natural o constructivo respecto de la horizontal.
<b>Precipitación</b>	Producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra.
<b>Ribera</b>	Franja de tierra que está junto a un río o mar.
<b><i>RipRap Revetment</i></b>	Obra de protección formada por la agrupación de elementos pétreos naturales, colocados sin algún mortero de pega que tiene como función la protección de los márgenes de los ríos, estructuras o terraplén.



## RESUMEN

El cantón Chitá se ubica en el municipio de Mazatenango en la ribera del río Chitá, mismo que presenta crecidas en la época lluviosa siendo una amenaza cada año para los pobladores y sus viviendas. Los vecinos del cantón son vulnerables a las posibles inundaciones del río debido a que no se ha realizado ninguna medida para mitigar los daños que ha causado el río.

La microcuenca del río Chitá es un afluente del río Sis-Icán, pertenece a la región climática de boca costa que se caracteriza por tener una estacionalidad de precipitaciones bastante regular e intensa en los meses de mayo a octubre. El río Chitá nace en el volcán Santo Tomás, teniendo pendientes pronunciadas en la parte alta de la cuenca mientras que en la parte baja es lo contrario lo cual propicia zonas de inundación en las cuales se presentan actividades humanas.

Para realizar el estudio del río se hizo un análisis morfométrico de la microcuenca del río Chitá para determinar los caudales con distintos períodos de retorno mediante el método racional y el análisis regional de crecidas de la república de Guatemala. Además, se llevó a cabo un levantamiento topográfico del tramo en estudio para determinar las secciones transversales del mismo. Con los datos hidrológicos y la geometría del cauce, se realizó la simulación hidráulica en HEC-RAS del río que permitió determinar las planicies de inundación.

El diseño y propuesta de las obras de protección se hizo en función de los objetivos de la obra de encauzamiento determinados luego de realizar el análisis del estudio hidrológico de la microcuenca del río Chitá, la simulación hidráulica del cauce y la visita de campo.

El enrocado de protección fue la obra de encauzamiento propuesta para evitar que las inundaciones continúen destruyendo los márgenes del río debido a las velocidades erosivas que alcanza el río. Estas obras fueron ubicadas en los tramos en los que se presentaban planicies de inundación según la simulación hidráulica.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer obras de protección contra inundaciones del río Chitá, en el Cantón Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez.

### **Específicos**

1. Determinar el riesgo que puedan tener los habitantes del cantón Chitá debido a las amenazas hidrometeorológicas que afectan a Guatemala.
2. Elaborar un estudio hidrológico de la microcuenca que drena al tramo del río Chitá por estudiar para obtener los parámetros morfométricos, características del relieve y de la red de drenaje de la microcuenca.
3. Determinar los caudales máximos para cada periodo de retorno mediante el análisis regional de crecidas para la república de Guatemala y el método racional.
4. Proyectar las secciones transversales necesarias para la simulación hidráulica realizando un levantamiento topográfico en el tramo del río en estudio.
5. Realizar una simulación hidráulica con el software HEC-RAS con distintos periodos de retorno para conocer los parámetros hidráulicos para el diseño

de las obras de protección, así como sus potenciales planicies de inundación.

6. Recomendar obras de protección para que el río Chitá siga su cauce y corroborar en HEC-RAS la eficacia de la solución propuesta mediante simulaciones implementando la obra de protección sugerida.

## INTRODUCCIÓN

Cada año en Guatemala existen miles de damnificados por la temporada de lluvias, siendo las principales amenazas los deslizamientos, derrumbes e inundaciones. Según la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) estima que el 72 % del territorio guatemalteco tiene una alta o muy alta probabilidad que se puedan registrar algunas de las tragedias naturales recién mencionadas.

El cantón Chitá del municipio de Mazatenango, Suchitepéquez, se ubica en la ribera del río Chitá siendo vulnerable a las crecidas. En la región climática en la que se encuentra el cantón las lluvias son intensas y constantes durante la época lluviosa propiciando en el río largos periodos de aguas altas.

Para mitigar los daños que puede generar una inundación es necesario proponer una obra de protección para encauzar el río, para ello se debe llevar a cabo un estudio hidrológico de la cuenca que drena el río y una simulación hidráulica del tramo de interés donde se han presentado las planicies de inundación.





# 1. CONCEPTOS BÁSICOS

## 1.1. Ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea).

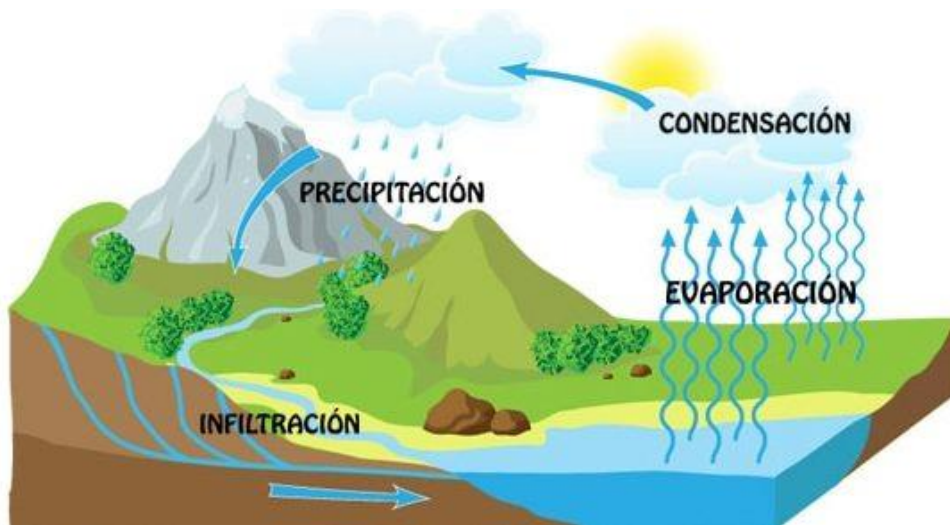
Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin; su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua se encuentra sobre la superficie terrestre, ríos, lagos y mares, se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa y forma las nubes que, a su vez, pueden ocasionar precipitaciones que caen a tierra.

Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse, o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes, o se infiltra. El agua interceptada una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente, de la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otras formas grandes de masa de agua como los lagos.

El agua que se infiltra satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde fluye hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar en los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo regresa a la atmósfera por transpiración.

El ciclo hidrológico es de importancia básica para delimitar el campo de la hidrología, la cual comprende la fase entre la precipitación sobre el terreno y su retorno a la atmósfera o al océano.<sup>1</sup>

Figura 1. **Ciclo del agua**



Fuente: RAFFINO, María. *Ciclo del agua*. <https://concepto.de/ciclo-del-agua/>. Consulta: marzo de 2020.

### 1.1.1. **Condensación y precipitación**

La condensación es el cambio de fase que se produce cuando el agua en estado gaseoso pasa al estado líquido. Este proceso, que libera energía en forma de calor latente, es necesario para crear precipitación.

La precipitación se conoce como la caída de agua en estado líquido o sólido, es la fuente primaria de agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman

---

<sup>1</sup> VILLÓN BEJAR, Máximo. *Hidrología*. p. 22.

el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

### **1.1.2. Evaporación**

La evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso, lo opuesto a la condensación. Básicamente la evaporación se produce por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a la superficie de un suelo húmedo o una masa de agua, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias de presión de vapor.

### **1.1.3. Transpiración**

La transpiración es el proceso por el cual la humedad que las plantas extraen del suelo mediante el sistema radicular eventualmente se evapora. A menudo, el efecto combinado de la evaporación y la transpiración se denominan evapotranspiración (ET) y, por lo general, constituye el componente de pérdida más importante del sistema de agua del suelo.

### **1.1.4. Infiltración**

La infiltración se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y penetra el perfil del suelo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. El proceso de infiltración recarga los suministros de agua subterránea y pone agua a disposición de la vegetación.

## 1.2. Cuencas hidrográficas

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

### 1.2.1. Elementos de una cuenca

A continuación, se describen las características de la cuenca:

#### 1.2.1.1. Parteaguas

Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico que delimita la cuenca hidrográfica y la separa de las cuencas vecinas.

Figura 2. Parteaguas de una cuenca



Fuente: VELÁSQUEZ, Rafael. *Morfología de una cuenca hidrográfica*.  
[http://aquabook.agua.gob.ar/377\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/377_0). Consulta: marzo de 2020.

### **1.2.1.2. Área de la cuenca**

Es la superficie que se encuentra delimitada por el parteaguas.

### **1.2.1.3. Corriente principal**

Se identifica fácilmente por ser la corriente que sale de la cuenca, las demás corrientes que existen en la cuenca se conocen como tributarias o afluentes. Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, más rápida será su respuesta a la precipitación que se representa con la relación de bifurcación.

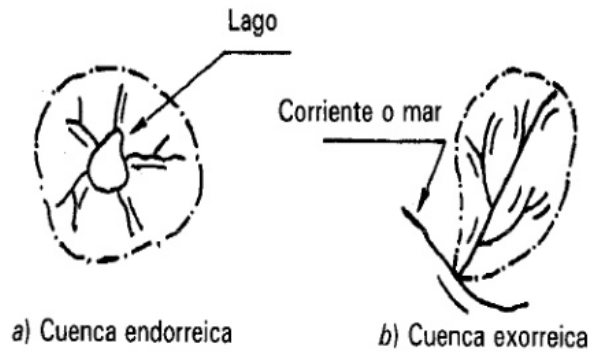
## **1.2.2. Tipos de cuencas**

Existen dos tipos de cuencas:

### **1.2.2.1. Cuencas endorreicas**

Las cuencas endorreicas son aquellas que no tienen salida hacia otra cuenca hidrográfica, ni hacia el mar por lo tanto este tipo de cuencas desembocan en lagos o lagunas.

Figura 3. **Tipo de cuencas**



Fuente: APARICIO, Francisco. *Fundamentos de hidrología de superficie*. p. 20.

#### 1.2.2.2. **Cuencas exorreicas**

Al contrario de las endorreicas, las cuencas exorreicas drenan sus aguas en el océano o en otra cuenca hidrográfica.

### 1.3. **Hidrografía de Guatemala**

Guatemala es un país rico en recursos hídricos, cuenta con 38 cuencas que se dividen en tres vertientes, estas vertientes indican el lugar con desembocan estas cuencas. A continuación, se describen:

- **Vertiente del Pacífico:** esta vertiente es la que cuenta con mayor número de cuencas (18 de 28), según una publicación de *Global Water Partnership* la vertiente del pacífico aglutina el 52 % de la población y drena el 22 % del país, una característica de los ríos de esta vertiente es su corta distancia que promedia en 100 km aproximadamente.

- Vertiente del Atlántico: abarca el 31 % del territorio del país con 30,7 % de la población, a diferencia de la vertiente del pacífico sus ríos son extensos y profundos ejemplo de ellos es el río Motagua o Polochic.
- Vertiente del Golfo de México: es la que posee más área geográfica con abarcando el 47 % del territorio y con un 18 % de la población. Esta es la vertiente más caudalosa el MARN estima que representa el 49 % del recurso hídrico superficial del país.

Figura 4. **Vertientes de Guatemala**



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Vertientes de Guatemala*.  
<http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>. p. 16. Consulta: marzo de 2020.

## **1.4. Componentes básicas del riesgo**

El riesgo se compone de la amenaza y la vulnerabilidad, por separado estas no representan peligro para una comunidad, sin embargo, juntas se transforman en riesgo. Por ejemplo, una población puede estar bajo amenaza por la crecida de un río, pero al contar con una estructura de protección vertical sobre el cauce no son vulnerables por lo tanto no están en riesgo.

### **1.4.1. Riesgo**

Es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los riesgos en una inundación pueden ser la pérdida de cultivos, bienes inmuebles e incluso la vida.

### **1.4.2. Amenaza**

Es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia.

### **1.4.3. Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad regularmente está definida por el entorno de una comunidad, sistema o bien que son susceptibles a los efectos que pueda causar la amenaza.



#### **1.4.4. Desastre**

Un desastre es un evento repentino, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación a través de sus propios recursos.

#### **1.4.5. Inundación**

Una inundación se puede definir cuando una zona regularmente seca o sin presencia de agua se encuentra sumergida por una precipitación, tsunami, crecidas, entre otros.

### **1.5. Evaluación del riesgo de los pobladores del cantón Chitá por amenazas hidrometeorológicas**

Actualmente en Guatemala representa un problema importante el riesgo que corren miles de personas cada año con la temporada de lluvias, tan solo en el año 2017 la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) reportó 420 711 personas afectadas,<sup>2</sup> 39 137 evacuadas, 1 667 en riesgo, 11 802 damnificadas, 9 129 albergadas, 4 desaparecidas, 26 heridas y 31 fallecidas.

En el protocolo nacional de temporada de lluvias y huracanes de 2018 de la república de Guatemala se presentó un mapa de riesgos publicado en el Index

---

<sup>2</sup> Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Situación general de la temporada de lluvias 2017*. <https://twitter.com/ConredGuatemala/status/926097093948792839>.

For Risk Management<sup>3</sup> que cataloga al municipio de Mazatenango del departamento de Suchitepéquez como de alto riesgo. Asimismo, en 2015, la CONRED publicó un mapa de amenaza por deslizamientos e inundaciones para el departamento de Suchitepéquez<sup>4</sup> donde establece que el río Chitá tiene un rango de amenaza muy alto, lo cual provoca una serie de riesgos en el cantón Chitá, una de las comunidades del municipio de Mazatenango que están próximas al río.

Algunas viviendas se encuentran en las fajas marginales del río Chitá, siendo propensas en cada época lluviosa a inundaciones. Estas viviendas que se encuentran en la ribera del río no cuentan con alguna obra de protección para mitigar los daños por las crecidas del río quedando vulnerables sus bienes materiales y su integridad física. En 2017 los pobladores solicitaron el dragado del río<sup>5</sup> como medida para reducir los daños que pueda provocar cada año la época de lluvias en el sur del país.

---

<sup>3</sup> INFORM Guatemala. *Index for Risk Management*. <http://www.inform-index.org/Subnational/Guatemala>.

<sup>4</sup> Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Amenaza por deslizamientos en el Municipio de Mazatenango. Inundaciones Departamento de Suchitepéquez*. [https://conred.gob.gt/site/mapas/municipales\\_ameindes/SUCHITEPEQUEZ/CUYOTENANGO/SUCHITEPEQUEZ%201002.pdf](https://conred.gob.gt/site/mapas/municipales_ameindes/SUCHITEPEQUEZ/CUYOTENANGO/SUCHITEPEQUEZ%201002.pdf).

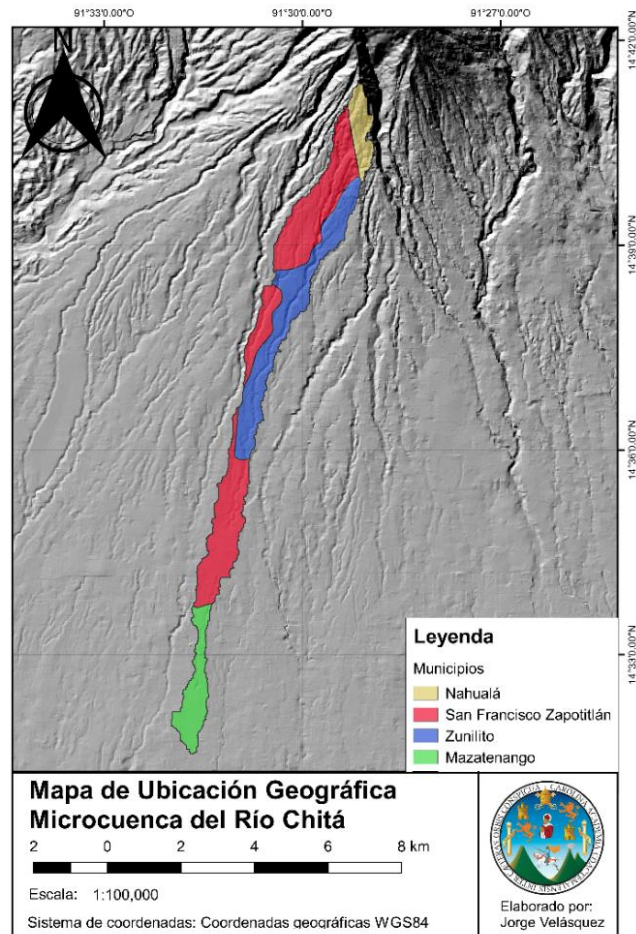
<sup>5</sup> Prensa Libre, Suchitepéquez. *Vuelve amenaza del Río Chitá*. <https://www.pressreader.com/guatemala/prensa-libre/20180602/282097752389687>.

## **2. CARACTERIZACIÓN DE LA MICROCUENCA**

### **2.1. Ubicación geográfica**

La microcuenca del río Chitá se inicia en el departamento de Sololá en las faldas del extinto volcán Santo Tomás y finaliza en Suchitepéquez, departamento en el cual se encuentra la mayoría del área que abarca. Forma parte de la cuenca del río Sis-Icán que desemboca sus aguas en el Pacífico.

Figura 5. **Ubicación geográfica de la microcuenca del río Chitá**

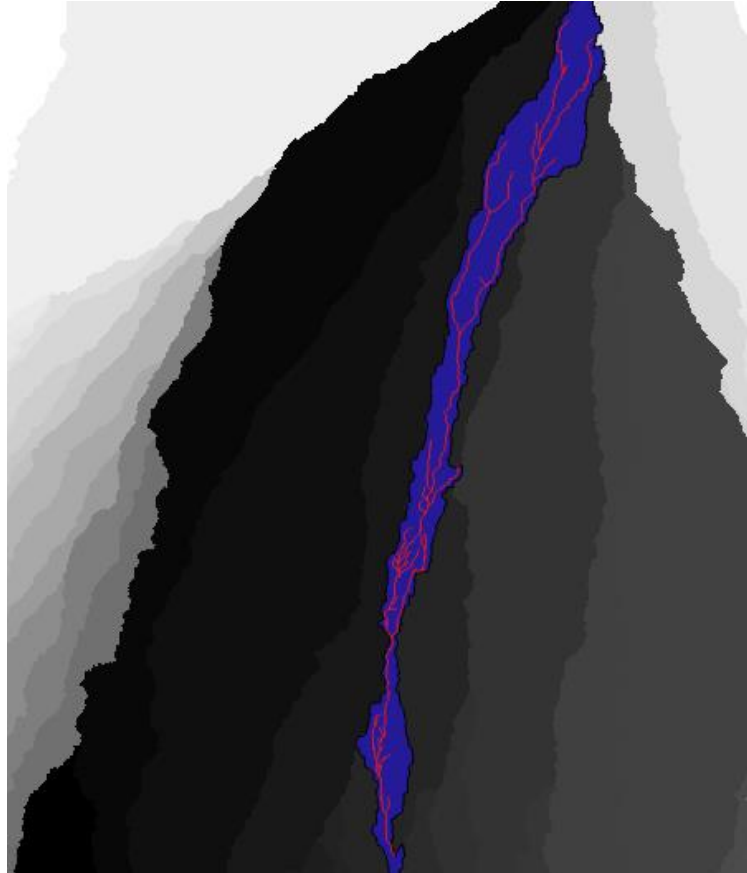


Fuente: elaboración propia utilizando Qgis with Grass.

## 2.2. Delimitación de la microcuenca

La microcuenca del río Chitá está delimitada por otras subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Sis-Icán, que se caracterizan por ser alargadas. En la siguiente figura se puede apreciar la delimitación de la microcuenca del río Chitá y las subcuencas vecinas en escala de grises.

Figura 6. **Delimitación de subcuencas**



Fuente: elaboración propia, empleando software Qgis with Grass.

### **2.3. Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca**

El análisis morfométrico de una cuenca es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo.

### 2.3.1. Datos base de la cuenca de estudio

Mediante el software Qgis 2.18.11 with Grass 7.2.1 se calcularon los siguientes datos:

Tabla I. Datos base de la cuenca

Descripción	Cantidad
Área de la cuenca	15,1027 Km <sup>2</sup>
Perímetro de la cuenca	54,7982 Km
Longitud del cauce principal	20,2427 Km
Longitud total de las curvas de nivel	35,6661 Km

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2. Forma de la cuenca

Esta característica es importante pues se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya a la sección de la corriente en estudio, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida.

#### 2.3.2.1. Índice de Gravelius

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca. Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular

posee el coeficiente mínimo, igual a 1. Hay mayor tendencia a crecidas en la medida que este número sea próximo a la unidad.

$$K_C = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K<sub>C</sub>= Índice de compacidad

P= Perímetro de la cuenca (Km)

A= área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

$$K_C = 0,282 * \frac{54,7982 \text{ Km}}{\sqrt{15,9764 \text{ Km}^2}} = 3,9764$$

Luego de haber delimitado la microcuenca del río Chitá se pudo observar que es una cuenca alargada, por lo tanto, se esperaba tener un índice de Gravelius alto.

#### **2.3.2.2. Factor de forma**

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca.

El ancho medio, B, se obtiene cuando se divide el área por la longitud axial de la cuenca. Una cuenca con factor de forma bajo es menos propensa a crecidas que otra del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

$K_f$ = factor de forma

$A$ = área de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

$L$ = longitud del cauce principal (Km)

$$K_f = \frac{15,1027 \text{ Km}^2}{(20,2427 \text{ Km})^2} = 0,03686$$

### 2.3.3. Características del relieve

Las características del relieve de la cuenca son parámetros muy importantes para el estudio hidrológico de la cuenca debido a que tiene relación con la infiltración, la escorrentía superficial y la contribución del agua subterránea a la escorrentía.

#### 2.3.3.1. Pendiente media de la cuenca

$$S = \frac{DL_L}{A}$$

Donde:

$S$ = pendiente media de la cuenca

$D$ = equidistancia entre curvas de nivel del mapa topográfico (Km)

$A$ = área de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

$L_L$ = longitud total de las curvas de nivel (Km)

$$S = \frac{0,1 \text{ Km} * 35,6661 \text{ Km}}{15,1027 \text{ Km}^2} = 0,2362$$



### 2.3.3.2. Histograma de frecuencias altimétricas

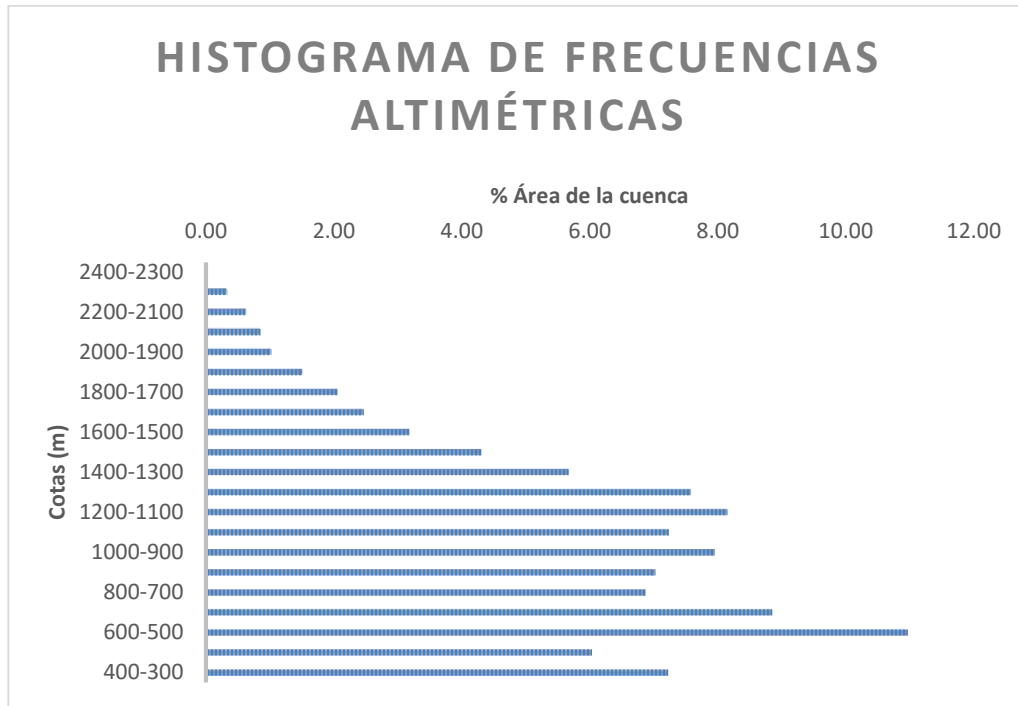
Este histograma representa el porcentaje de área comprendida de la cuenca entre dos alturas.

Tabla II. Datos de área entre curvas de nivel a cada 100 m

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	%área de la cuenca
2400-2300	5 154,86	0,03
2300-2200	50 155,91	0,33
2200-2100	95 659,30	0,63
2100-2000	128 697,08	0,85
2000-1900	154 812,17	1,03
1900-1800	229 064,35	1,52
1800-1700	311 840,68	2,06
1700-1600	372 781,79	2,47
1600-1500	481 028,00	3,19
1500-1400	651 175,18	4,31
1400-1300	856 122,27	5,67
1300-1200	1 144 881,87	7,58
1200-1100	1 231 111,92	8,15
1100-1000	1 092 545,84	7,23
1000-900	1 201 706,52	7,96
900-800	1 061 236,27	7,03
800-700	1 038 381,02	6,88
700-600	1 336 748,51	8,85
600-500	1 656 896,94	10,97
500-400	911 612,09	6,04
400-300	1 091 062,40	7,22

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Histograma de frecuencias altimétricas**

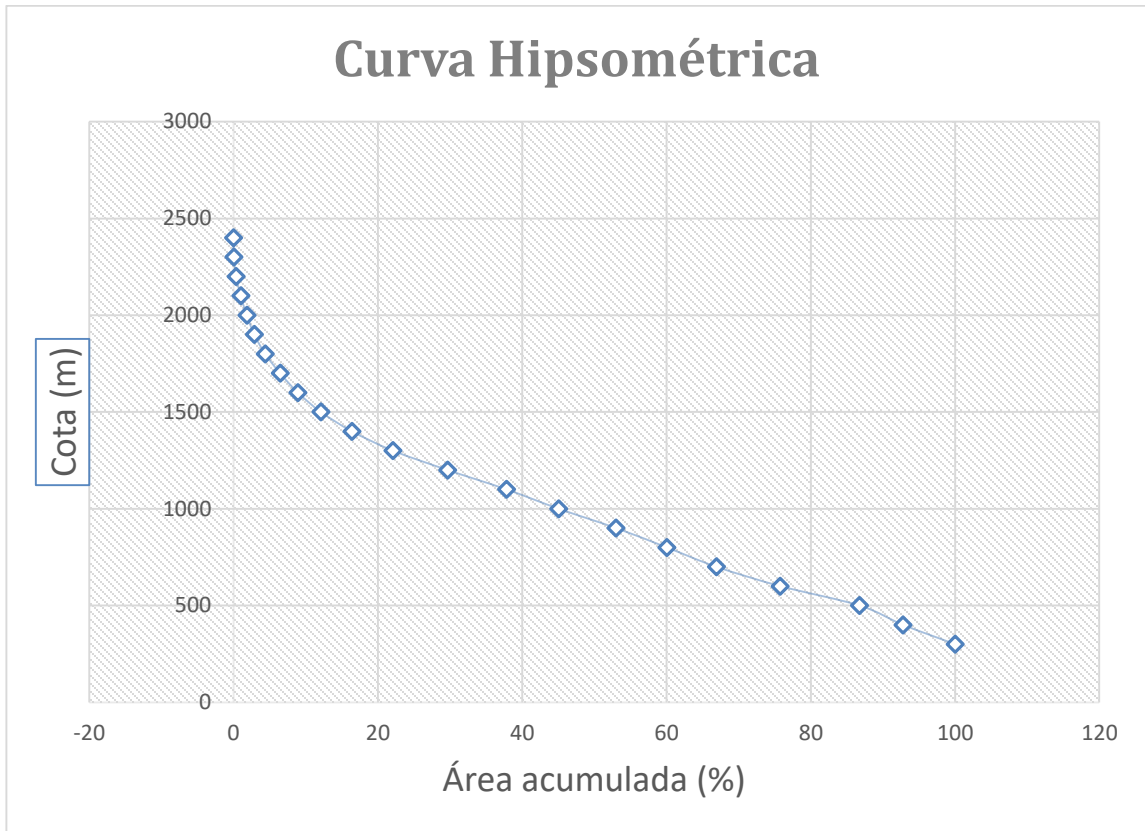


Fuente: elaboración propia.

### 2.3.3.3. **Curva hipsométrica**

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca, esta curva indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en  $\text{Km}^2$  que existe por encima de una cota determinada.

Figura 8. **Curva hipsométrica**



Fuente: elaboración propia.

#### 2.3.3.4. **Pendiente del cauce principal**

Mediante el programa de Qgis se determinó la altura máxima y mínima del cauce principal, así como longitud para hacer el cálculo de la pendiente del cauce principal.

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$
$$S_m = \frac{2\ 366 - 327}{20\ 242,70} = 0,1007$$

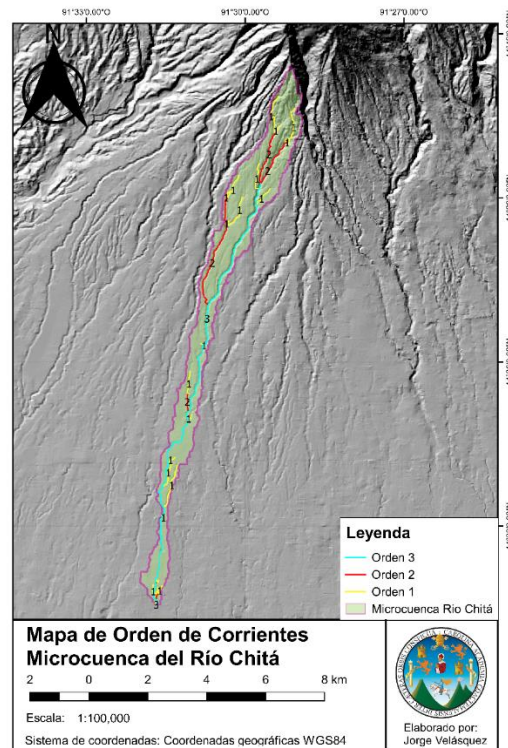
### 2.3.4. Características de la red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca se refiere al comportamiento y distribución que guardan entre sí las corrientes de la cuenca.

#### 2.3.4.1.1. Orden de las corrientes

El orden de las corrientes tiene por objetivo asignar un número que refleja un grado de ramificación de la red de drenaje. Luego de realizar la ramificación de los ríos se determinó que el río principal de la microcuenca del río Chitá es de orden tres. A continuación, se presenta la ramificación del río Chitá.

Figura 9. Orden de la cuenca



Fuente: elaboración propia utilizando Qgis with Grass.

### 2.3.4.2. Relación de bifurcación

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

Donde:

N<sub>i</sub>= número de cauces de orden i

R<sub>B</sub>= relación de bifurcación

Tabla III. Datos de la red de ríos de la microcuenca del río Chitá

# Orden	# Cauces	Longitud (Km)
1	29	18,9916
2	6	11,2179
3	1	16,8122

Fuente: elaboración propia.

$$R_{B1} = \frac{29}{6} = 4,83$$

### 2.3.4.3. Relación de longitud

$$R_L = \frac{L_{i+1}}{L_i}$$

Donde:

R<sub>L</sub>= relación de longitud

L<sub>i</sub>= longitud promedio de los cauces de orden i

$$R_{L1} = \frac{11,2179/6}{18,9916/29} = 2,8549$$

$$R_{L2} = \frac{16,8122}{11,2179/6} = 8,9922$$

#### 2.3.4.4. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje representa la longitud de las corrientes por unidad de área de una cuenca buscando dar una idea la cobertura de estos. Además, puede indicar la naturaleza de los suelos, por ejemplo, valores altos representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos erosionables. Mientras que valores bajos representan lo contrario, suelos duros y una cobertura vegetal densa.

$$Dn = \frac{\sum L_t}{A}$$

Donde:

Dn= densidad de drenaje

Lt= longitud de todos los cauces

A= área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

$$D = \frac{18,9916 \text{ Km} + 11,2179 \text{ Km} + 16,8122 \text{ Km}}{15,1027 \text{ Km}^2} = 2,8142 \text{ Km/Km}^2$$

#### 2.3.4.5. Frecuencia de cauces

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Donde:

F= frecuencia de cauces

Ni= número de cauces del orden i

A= área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

$$F = \frac{29 + 6 + 1}{15,1027 \text{ Km}^2} = 2,1546 \frac{\text{cauces}}{\text{Km}^2}$$

Al haber analizado los parámetros morfométricos de la cuenca se puede decir que la cuenca del río Chitá es Oval con forma oblonga a rectangular, esto indica que la cuenca es alargada, contrastado por los datos encontrados de factor de forma y el índice de Gravelius. Por lo tanto, en teoría al ser una cuenca con un índice de compacidad alto la respuesta es más rápida y menos propensa a sufrir crecidas.

Los datos de las características del relieve arrojan datos importantes para entender el comportamiento de la cuenca, la pendiente media es de 23,62 % siendo está una pendiente pronunciada, sin embargo, tanto el histograma de frecuencias como en la curva hipsométrica se observa que en la parte baja de la cuenca está la mayor acumulación de área por lo tanto estas zonas se pueden ver afectadas por eventuales planicies de inundación.





### **3. ANÁLISIS DE CRECIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **3.1. Concepto climatología**

Es el conjunto de los estados atmosféricos sobre una determinada región. De esta forma el clima está referido a un período suficientemente largo, teniendo en cuenta las variaciones periódicas y aperiódicas que se producen, y el desarrollo normal del tiempo meteorológico en el transcurso del año, en un lugar, región, continente, hemisferio o planeta.

##### **3.1.1. Regiones climáticas de Guatemala**

El Insivumeh (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) en su sitio web afirma que el clima de Guatemala se origina a partir de los fenómenos que se generan por efecto de la circulación general de la atmósfera, la influencia oceánica, y este va adquiriendo características particulares por la posición geográfica y la topografía del país.

El ciclo lluvioso se produce cuando se establece el régimen de los vientos Alisios del Nordeste, y subsecuentemente la zona de convergencia Intertropical (ZCTI) se aproxima a nuestras latitudes, se dependen sistemas nubosos desde la costa africana y son trasladadas por los vientos alisios que adquieren mayor componente del Este (ondas del Este). A su paso estas ondas del Este van generando lluvia y algunas veces adquieren un componente de vorticalidad convirtiéndolas en ciclones tropicales, este fenómeno genera una gran cantidad de lluvia durante su paso.

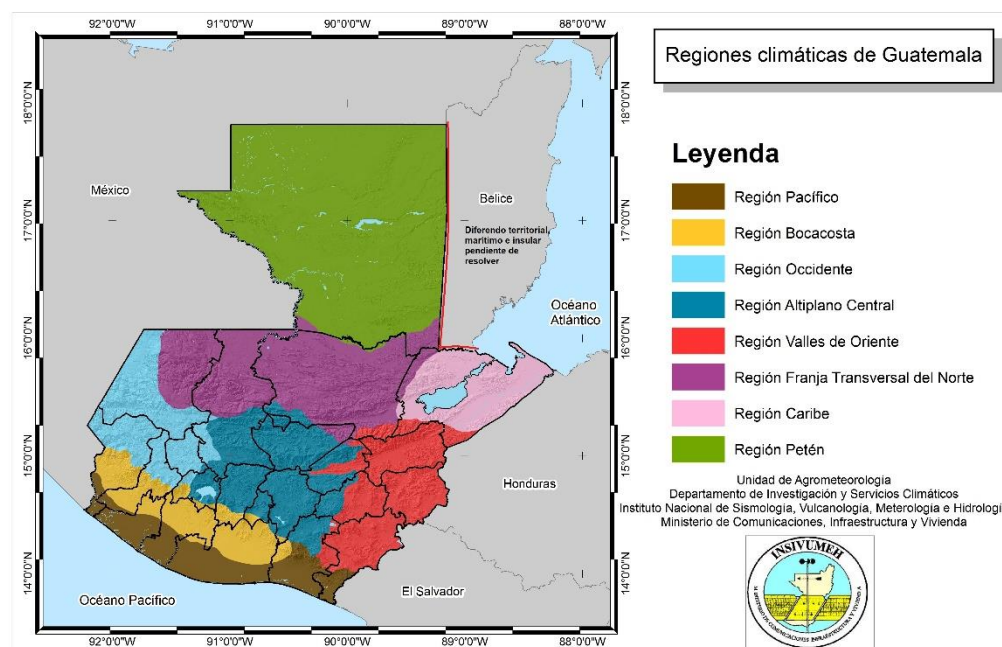
La época lluviosa por lo general da inicio en mayo, en junio suelen presentarse días nublados y lluviosos. En julio y parte de agosto se produce un período seco denominado canícula, esto debido a la inversión de los alisios, y al fortalecimiento del anticiclón del Golfo de México, posteriormente al debilitarse y desaparecer vuelve nuevamente las precipitaciones intensas que completan la temporada lluviosa (septiembre y octubre).

La época seca da inicio con el incremento de la presión atmosférica y la migración de masas de aire frío proveniente de la zona polar (frentes fríos), causando un descenso de la temperatura e incrementando la velocidad del viento, por lo general se tiene predominancia de viento norte, esta época fría se marca de noviembre a febrero, y posteriormente, se incrementa la temperatura presentándose olas de calor en los meses de marzo y abril. Durante esta época se pueden presentar algunas lluvias locales de tipo convectivo, o prefrontales por la influencia de frentes fríos.

Las condiciones descritas son de carácter general; pero cada región tiene sus propias características climáticas locales debido al efecto de la topografía regional, vegetación, geología y tipos de suelo, permitiendo definir seis regiones perfectamente caracterizadas, siendo estas regiones las siguientes:

- Región Caribe
- Región de los valles de Oriente
- Región de Occidente
- Región boca costa
- Región Pacífico
- Región del altiplano central
- Región franja transversal del Norte
- Región Norte

Figura 10. **Regiones climáticas de Guatemala**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Regiones climáticas*. <http://www.insivumeh.gob.gt/regiones-climaticas/>. Consulta: septiembre de 2019.

La microcuenca del río Chitá se encuentra en la región de boca costa.

### 3.1.2. **Región de boca costa**

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Santa Rosa, situada en la ladera montañosa, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del pacífico. Tiene juntamente con la transversal del norte los índices más altos de precipitación en el país. Los niveles de temperatura aumentan a medida que

desciende hacia el litoral. Alcanzan cierta estabilidad en las regiones próximas al mar.

Las precipitaciones están bien caracterizadas: son escasas en los meses iniciales del año, pero se intensifican a partir de mayo. El período más lluvioso es el comprendido de junio a septiembre. Existe un clima generalizado de género semicálidos y sin estación fría bien definida; con carácter de muy húmedo sin estación seca bien definida y la vegetación característica es selva. Varía a húmedo y sin estación seca bien definida, en el extremo oriental.

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 3 100 a 4 000 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual entre 190 a 660 mm en toda la región.

### **3.2. Método racional**

Es un método utilizado para encontrar caudales máximos y se recomienda utilizar en cuencas pequeñas. Para este estudio se utilizará el método racional y el análisis regional de crecidas para determinar los caudales máximos mediante una envolvente.

El método racional supone que la máxima escorrentía ocasionada por una tormenta se produce cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración, de esta manera toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Para el cálculo del caudal máximo se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{3,6}$$

Donde:

Q= caudal máximo en m<sup>3</sup>/s

C= coeficiente de escorrentía

I= intensidad de lluvia en mm/h

A= área de la cuenca en km<sup>2</sup>

El coeficiente 1/3,6 es un factor de conversión de unidades.

### 3.2.1. Determinación de la intensidad de lluvia

Para determinar la intensidad de lluvia son necesarias las curvas IDF, en síntesis, son una relación matemática entre la intensidad de una tormenta, su duración y la frecuencia. Esta última se caracteriza mediante períodos de retorno que sirven para para representar la probabilidad de ocurrencia de una tormenta. El modelo matemático para representar las curvas es la siguiente:

$$i = \frac{A}{(B + tc)^n}$$

Donde:

i= intensidad de lluvia en mm/h

A, B y n= parámetros de ajuste del modelo en función del período de retorno

tc= tiempo de concentración en minutos

El Insivumeh publicó un análisis de las curvas IDF para 23 estaciones de distintas regiones del país titulado *Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala*, por lo tanto, para poder calcular la intensidad de lluvia es necesario

utilizar los parámetros determinados de este estudio de la estación más cercana a la microcuenca del río Chitá.

La estación más cercana a la cuenca en estudio es la estación de Retalhuleu, que tiene los siguientes parámetros:

Tabla IV. **Parámetros A, B y n de la estación meteorológica Retalhuleu**

RETALHULEU								
Tr	2	5	10	20	25	30	50	100
<b>A</b>	5 843	1 991	1 150	1 321	1 315	1 221	1 215	1 217
<b>B</b>	25	14	11	13	13	12	12	12
<b>n</b>	1,037	0,769	0,616	0,633	0,63	0,613	0,61	0,609
<b>R<sup>2</sup></b>	0,998	0,998	0,976	0,975	0,975	0,974	0,974	0,974

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Estudio de Intensidades de Precipitación en Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/estaciones-meteorologicas/>.

Para aplicar la ecuación y determinar la intensidad de lluvia es necesario el tiempo de concentración, que se puede definir como el tiempo que tarda en llegar al punto de salida una gota de lluvia caída en el extremo más alejado de la cuenca. Para calcularlo es bastante utilizada la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas de California, que se representa en la siguiente expresión:

$$tc = \frac{3 * L^{1,15}}{154 * H^{0,38}}$$

Donde:

L= longitud del cauce desde la cabecera de la cuenca tributaria en metros

H= desnivel del cauce mencionado en metros

$$tc = \frac{3 * 21350,385^{1,15}}{154 * 2039^{0,38}} = 102,53 \text{ minutos}$$

Tabla V. **Intensidades de lluvia**

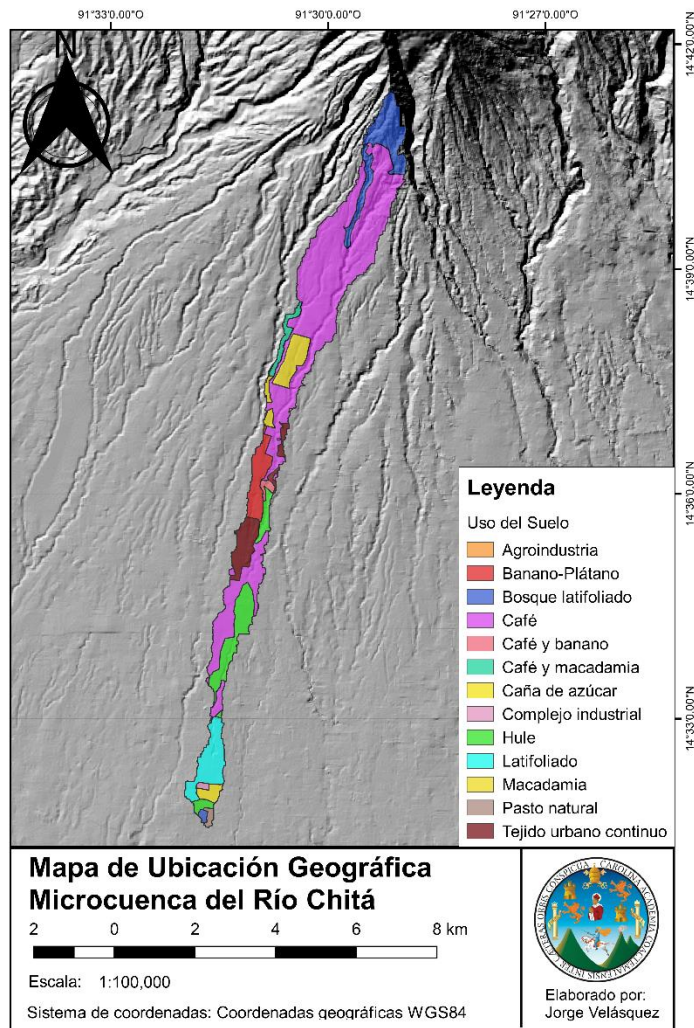
<b>Tr (años)</b>	<b>Intensidad de lluvia (mm/h)</b>
2	38,29
5	51,28
10	62,34
20	65,35
25	65,98
30	66,77
50	67,40
100	67,83

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. **Cálculo de coeficientes de escorrentía**

El coeficiente de escorrentía representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y toma valores entre cero y uno.

Figura 11. **Áreas delimitadas según el uso del suelo**



Fuente: elaboración propia, utilizando Qgis with Grass.

Conociendo el uso del suelo sobre la cuenca en estudio, se asignó un coeficiente de escorrentía según el tipo de vegetación o urbanización para luego encontrar un valor promedio mediante una media ponderada para que este sea



utilizado para encontrar los caudales instantáneos con la ecuación del método racional.

Tabla VI. **Valores del coeficiente de escorrentía**

Tipo de vegetación	Pendiente (%)	Textura		
		Franco arenosa	Franco arcillolimoso franco limosa	Arcillosa
Forestal	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,50	0,60
Praderas	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,15	0,35	0,55
	10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terrenos cultivados	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,60	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fuente: VILLÓN, Máximo. *Hidrología*. p. 257.

Tabla VII. **Valores de C para zonas urbanas**

Tipo de área drenada	Coeficiente C
<i>Áreas comerciales</i>	
Céntricas	0,70 - 0,95
Vecindarios	0,5 - 0,70
<i>Áreas residenciales</i>	
Familiares simples	0,30 - 0,50

Continuación tabla VII.

Multifamiliares separadas	0,40 - 0,60
Multifamiliares concentrados	0,60 - 0,75
Semiurbanos	0,25 - 0,40
Casas de habitación	0,50 - 0,70
<i>Áreas industriales</i>	
Densas	0,60 - 0,90
Espaciadas	0,50 - 0,80
Parques, cementerios	0,10 - 0,25
Campos de juego	0,10 - 0,35
Patios de ferrocarril	0,20 - 0,40
Zonas suburbanas	0,10 - 0,30
<i>Calles</i>	
Asfaltadas	0,70 - 0,95
De concreto hidráulico	0,80 - 0,95
Adoquinadas	0,70 - 0,85
Estacionamientos	0,75 - 0,85
Techados	0,75 - 0,95

Fuente: VILLÓN, Máximo. *Hidrología*. p. 258.

Tabla VIII. Cálculo del coeficiente de escorrentía

Uso del suelo	Descripción	C <sub>i</sub>	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	C <sub>i</sub> *A <sub>i</sub>
Praderas	Pasto natural	0,30	79 268,94	23 780,68
Terrenos cultivados	Hule	0,50	1 279 189,81	639 594,91
Forestal	Bosque latifoliado	0,30	1 507 602,81	452 280,84
Terrenos cultivados	Caña de azúcar	0,50	195 516,09	97 758,04
Forestal	Latifoliado	0,30	946 953,43	284 086,03
Zona urbana	Complejo Industrial	0,80	45 715,88	36 572,70
Terrenos cultivados	Café	0,50	8 435 665,48	4 217 832,74
Zona urbana	Tejido Urbano Continuo	0,70	791 395,60	553 976,92
Terrenos cultivados	Banano - Plátano	0,50	712 801,04	356 400,52
Terrenos cultivados	Café y banano	0,50	95 673,27	47 836,64
Terrenos cultivados	Macadamia	0,50	756 861,38	378 430,69
Zona urbana	Agroindustria	0,80	4 331,07	3 464,86
Terrenos cultivados	Café y macadamia	0,50	251 726,52	125 863,26
<b>Sumatoria</b>			<b>15102701,3</b>	<b>7217878,82</b>
$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$			$\frac{7217878,82}{15102701,3} = 0,48$	

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.3. Caudales máximos

A continuación, se calculan los caudales máximos con la ecuación del método racional:

$$Q = \frac{CIA}{3,6}$$

Tabla IX. **Caudales máximos**

<b>Tr (Años)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
2	77,11
5	103,27
10	125,53
20	131,59
25	132,87
30	134,46
50	135,72
100	136,58

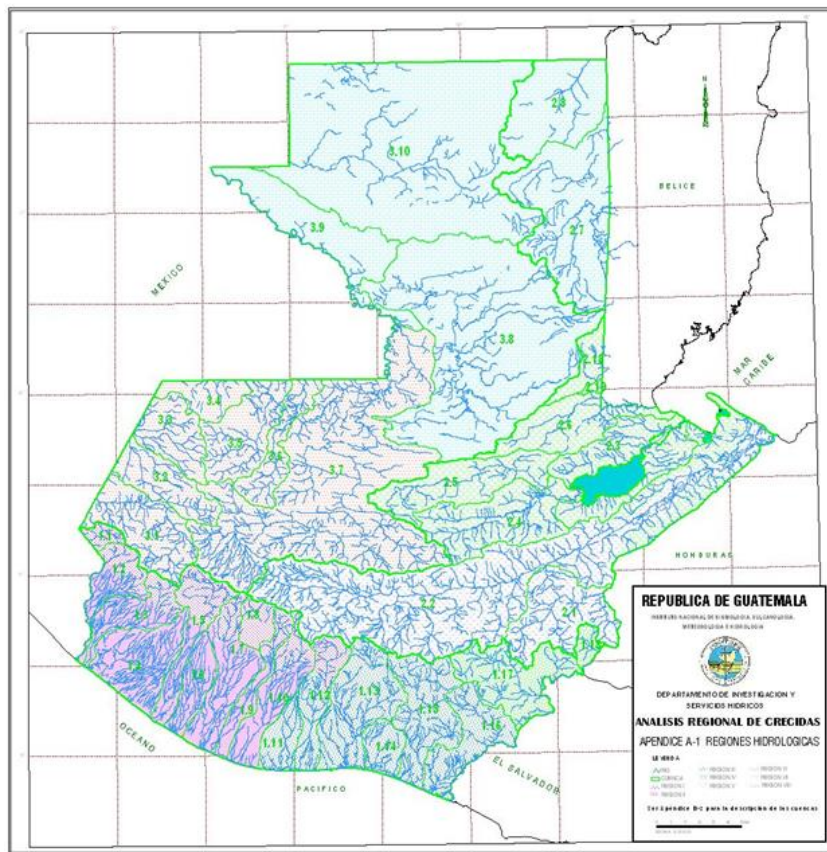
Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Análisis regional de crecidas**

En 2004 el Insivumeh publicó el *Análisis regional de crecidas para la república de Guatemala*, en el mismo se definen una metodología para obtener una ecuación que relaciona el caudal máximo medio (QMM), el área de la cuenca y los caudales en función de distribuciones de frecuencia.

Este informe define ocho regiones hidrológicas que se pueden apreciar en el siguiente mapa:

Figura 12. Regiones hidrológicas



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Análisis de crecidas en la república de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/regiones-hidrologicas/>.

La cuenca del río Sis-Icán pertenece en su totalidad a la región del Pacífico Sur – Occidental, por lo tanto, la subcuenca del río Chitá también.

### 3.3.1. Cálculo de caudales máximos

Para la estimación de los caudales máximos el Insivumeh propone el siguiente procedimiento:

- Estimar la crecida índice QMM mediante utilizando los coeficientes B y n de la tabla X, para la región II.
- Obtener los caudales modulares regionales  $K_{Tr}$  de los periodos de retorno de interés de la tabla XI, para las distribuciones de Gubel, Log-Normal y Curva Envolvente Superior.
- Calcular los caudales máximos con la ecuación  $Q_{Tr}=QMM*Ktr$

Tabla X. **Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas.**  
**N es el número de estaciones utilizadas, B y n son**  
**parámetros de ajuste de la Ec.  $QMM=B A^n$  (A=área de la**  
**cuenca)**

<b>REGIONES</b>	<b>N</b>	<b>B</b>	<b>n</b>
REGIÓN I: ALTIPLANO OCCIDENTAL	11	0,08	1,03
REGIÓN II: PACÍFICO SUR-OCCIDENTAL	10	84,00	0,24
REGIÓN III: PACÍFICO SUR-ORIENTAL	10	0,26	1,04
REGIÓN IV: ALTIPLANO ORIENTAL	4	0,15	1,21
REGIÓN V: MOTAGUA	12	3,62	0,64
REGIÓN VI: POLOCHIC-CAHABÓN Y BAJO MOTAGUA	17	0,75	0,91
REGIÓN VII: PLANICIE DEL PETÉN	5	0,22	0,90
REGIÓN VIII: NOROCCIDENTAL	17	2,99	0,65

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Análisis de crecidas en la república de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/regiones-hidrologicas/>.

Tabla XI. **Cuantiles de caudales modulares regionales, K, de acuerdo con las distribuciones de Gumbel y log-normal**

Tr	REGION								REGION							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	GUMBEL								LOG-NORMAL							
1 000	5,78	5,37	6,45	7,35	4,60	4,16	3,91	4,76	5,69	5,79	14,54	11,18	4,45	7,18	6,28	6,10
500	5,26	4,90	5,86	6,66	4,21	3,82	3,60	4,36	5,01	5,09	11,12	9,26	3,99	5,90	5,25	5,25
100	4,05	3,79	4,48	5,06	3,30	3,02	2,86	3,40	3,59	3,62	5,62	5,66	3,01	3,61	3,35	3,56
50	3,53	3,32	3,89	4,37	2,91	2,67	2,54	2,99	3,04	3,05	4,06	4,43	2,61	2,87	2,71	2,95
30	3,14	2,96	3,44	3,86	2,62	2,42	2,30	2,69	2,66	2,66	3,15	3,63	2,33	2,40	2,30	2,54
25	3,01	2,84	3,29	3,67	2,51	2,32	2,22	2,58	2,53	2,53	2,87	3,37	2,23	2,25	2,17	2,40
20	2,84	2,68	3,09	3,44	2,38	2,21	2,12	2,44	2,37	2,37	2,55	3,06	2,11	2,07	2,01	2,24
10	2,30	2,19	2,48	2,73	1,98	1,85	1,79	2,02	1,89	1,88	1,75	2,20	1,74	1,59	1,58	1,76
5	1,74	1,68	1,84	1,99	1,55	1,48	1,44	1,57	1,43	1,42	1,16	1,46	1,38	1,20	1,21	1,33
2	0,89	0,90	0,87	0,86	0,91	0,92	0,93	0,91	0,82	0,82	0,66	0,65	0,87	0,80	0,82	0,81

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Análisis de crecidas en la república de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/regiones-hidrologicas/>.

$$Q_{MM} = B * A^n = 84 * 15,1027^{0,24} = 161,1582 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla XII. **Resumen de cálculos para estimar caudales máximos**

Tr (años)	GUMBEL		LOG-NORMAL		ENVOLVENTE	
	K <sub>Tr</sub>	Q <sub>Tr</sub>	K <sub>Tr</sub>	Q <sub>Tr</sub>	K <sub>Tr</sub>	Q <sub>Tr</sub>
1000	6,45	1039,47	14,54	2343,24	7,60	1224,80
500	5,86	944,39	11,12	1792,08	6,80	1095,88
100	4,48	721,99	5,62	905,71	5,10	821,91
50	3,89	626,91	4,06	654,30	4,36	702,65
30	3,44	554,38	3,15	507,65	3,87	623,68
25	3,29	530,21	2,87	462,52	3,72	599,51
20	3,09	497,98	2,55	410,95	3,47	559,22
10	2,48	399,67	1,75	282,03	2,85	459,30
5	1,84	296,53	1,16	186,94	2,24	360,99
2	0,87	140,21	0,66	106,36	1,45	233,68

Fuente: elaboración propia.





## **4. MODELACIÓN HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS**

### **4.1. Conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos**

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el líquido fluye debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera.

Los canales pueden ser naturales como los ríos o artificiales como las alcantarillas y las tuberías.

#### **4.1.1. Tipos de flujo en canales abiertos**

El flujo en canales abiertos tiene lugar cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y se encuentra parcialmente envueltos por un contorno sólido. Puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras, a continuación, se mencionan dos de ellas importantes para comprender el software HEC-RAS.

##### **4.1.1.1. Flujo permanente**

Un flujo es permanente si cumple la condición según la cual sus características de flujo no varían con el tiempo o son constantes.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \frac{\partial A}{\partial t} = 0;$$

#### 4.1.1.2. Flujo no permanente

Se cataloga como no permanente cuando las propiedades del fluido son distintas en el tiempo.

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial A}{\partial t} \neq 0;$$

#### 4.1.2. Número de Froude

El número de Froude es utilizado en canales abiertos para determinar el régimen del flujo, mediante una ecuación que relaciona las fuerzas inerciales con las fuerzas gravitacionales dando como resultado un número adimensional.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL_h}}$$

Donde:

Fr= número de Froude

V= velocidad media del flujo (m/s)

g= aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

L<sub>h</sub>= profundidad hidráulica (m)

En el caso que el número de Froude es mayor a 1 el régimen de flujo es supercrítico lo cual indica que las fuerzas inerciales son mayores a las gravitacionales, cuando es igual a 1 el régimen es crítico y las fuerzas se encuentran en equilibrio. Cuando F es menor a 1 el flujo es subcrítico, en este régimen las fuerzas gravitacionales son las dominantes.

### 4.1.3. Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad indica el valor de la resistencia al flujo en un canal determinado, algunos de los factores que afectan su determinación son: rugosidad superficial, vegetación, irregularidad del canal, alineamiento del canal, sedimentación y socavación.

El coeficiente de rugosidad suele representarse con la letra  $n$ , en el documento 2339 del Servicio Geológico y de Abastecimiento de Agua de los Estados Unidos titulado como *Guía para la selección del coeficiente de rugosidad de manning para canales naturales y planicies de inundación* se presentan distintos métodos para la determinación del coeficiente de rugosidad.

### 4.1.4. Energía específica

La energía específica en una sección de canal se define como la energía por la unidad de peso del agua en cualquier sección de un canal medido respecto del fondo y se representa en la siguiente ecuación:

$$E = Z + Y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

Donde:

$E$ = energía específica

$Z$ = altura de la cota referenciada del fondo del canal (m)

$Y$ = profundidad del agua (m)

$V$ = velocidad del fluido en la sección de estudio (m/s)

$g$ = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\alpha$  = coeficiente de Coriolis

#### 4.2. Introducción al programa HEC-RAS

HEC-RAS es un programa gratuito desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, destinado para poder realización modelaciones hidráulicas en régimen permanente y no permanente, transporte de sedimentos y análisis de la calidad del agua en cauces naturales o artificiales.

El programa permite el cálculo de una planicie de inundación, así como plantear en el mismo una obra de mitigación con caudales de distintos periodos de retorno, también permite la determinación de las características hidráulicas como el diseño de estructuras como puentes, alcantarillas, canales, entre otros.

HEC-RAS resuelve la ecuación de la energía para determinar los perfiles de la superficie del agua.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

$Z_1, Z_2$  = elevación de cota invert (m)

$Y_1, Y_2$  = altura del agua en la sección transversal (m)

$a_1, a_2$  = coeficiente ponderado de velocidad

$h_e$  = pérdida de energía (m)

$V_1, V_2$  = velocidad en la sección transversal (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para llevar a cabo la simulación hidráulica del río Chitá es necesario el ingreso de los datos que se describen a continuación.

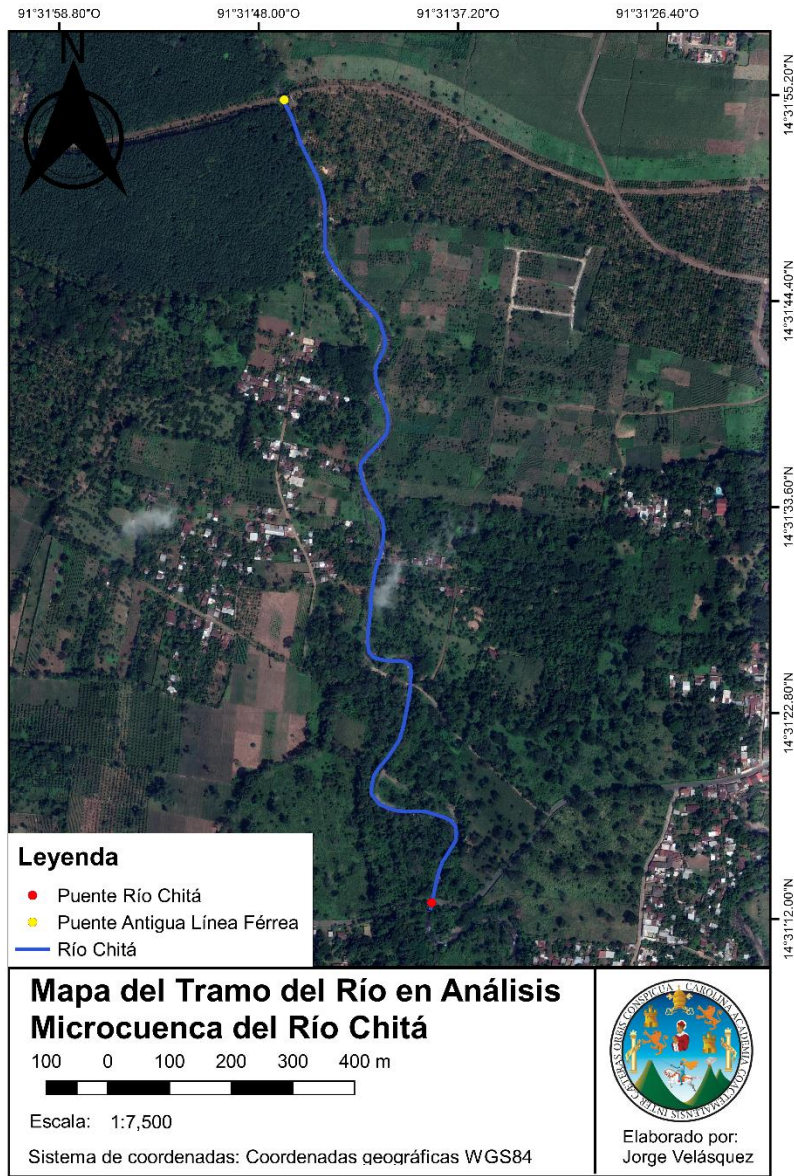
#### **4.2.1. Datos de geometría**

El primer paso para realizar una simulación hidráulica en HEC-RAS es el ingreso de los datos de geometría, los mismos son obtenidos mediante un levantamiento topográfico para poder determinar el eje del río, el cauce principal y secciones transversales.

##### **4.2.1.1. Levantamiento topográfico**

Para el caso de la microcuenca del río Chitá se inició el levantamiento en el puente de la antigua línea férrea hasta el puente Chitá que se encuentra 1 500 metros aguas abajo. En este tramo se encuentra el cantón Chitá el cual en los años recientes ha padecido las crecidas del río.

Figura 13. Tramo del río en análisis



Fuente: elaboración propia, utilizando Qgis with Grass.

El levantamiento topográfico se realizó con una cuadrilla de topografía conformada por cuatro personas, utilizando una estación total marca Kolida modelo KTS-442Rc.

Figura 14. **Estación total Kolida KTS-442Rc**



Fuente: elaboración propia.

El levantamiento se llevó a cabo haciendo secciones transversales a cada 20 m, en casos como los meandros se realizaron a menor distancia para poder representar de mejor manera el río.

Además, es importante establecer en el levantamiento topográfico el cauce principal o donde la circulación del agua es perenne sin importar la época del año

para facilitar el ingreso de datos. A continuación, se presentan imágenes del levantamiento.

Figura 15. **Inicio en puente de la antigua línea férrea**



Fuente: elaboración propia.



Figura 16. **Toma de puntos**



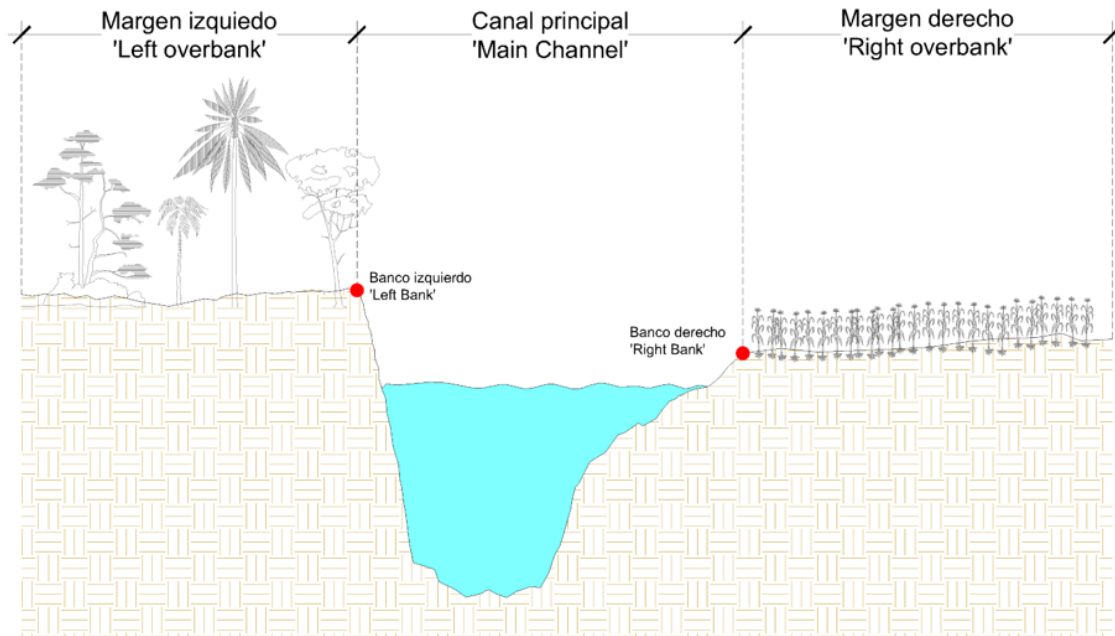
Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de analizar de mejor forma las planicies de inundación se combinó la información del levantamiento topográfico con el modelo de elevaciones digital para la república de Guatemala de 20 m x 20 m.

#### **4.2.1.2. Datos de sección transversal**

Para el ingreso de los datos de la sección transversal es importante tener claro una de las premisas principales del programa, HEC-RAS utiliza los *'Main Channel Bank Station'* que son los puntos que delimitan el canal principal donde el flujo del agua es constante sin importar la estación del año como se mencionó anteriormente.

Figura 17. **Clasificación sección transversal en HEC-RAS**



Fuente: elaboración propia, utilizando Autodesk Civil 3D 2020.

Esta categorización del programa entre el canal principal, margen izquierdo y margen derecho del río permite el ingreso de datos distintos del coeficiente de rugosidad de Manning, lo cual tiene sentido considerando que en las eventuales planicies de inundación puede cambiar las condiciones de un margen y otro, por ejemplo, de un lado se puede encontrar cultivos y del otro un área con arbustos y árboles.

#### **4.2.2. Datos de flujo permanente**

En el programa se puede realizar dos tipos de análisis, permanente y no permanente. Anteriormente se mencionó las condiciones que identifican a un flujo como permanente o no permanente, en el caso de la simulación del río Chitá se

llevará a cabo una simulación de flujo permanente, en la cual los datos necesarios para llevar a cabo son los caudales para distintos periodos de retorno calculados con el método racional y el análisis regional de crecidas.

Para llevar a cabo una simulación de flujo no permanente se necesita más datos para poder desarrollarla, se precisa de un diagrama unitario de la microcuenca del río Chitá que es un estudio de la respuesta del río en una tormenta, al no contar con estos datos no es posible realizar este tipo de simulación.

Luego de analizar los caudales obtenidos por ambos métodos en el capítulo 3, se llegó a la conclusión que el método racional es el más adecuado para analizar la microcuenca del río Chitá. El análisis regional es más adecuado de utilizar para cuencas más grandes, por eso se presentan caudales tan grandes a pesar de ser una cuenca considerablemente pequeña.

#### **4.2.2.1. Condiciones de contorno**

Las condiciones de contorno del programa se ocupan de definir el comportamiento del modelo en sus límites: aguas arriba y aguas abajo. Por lo tanto, el programa requiere esta información tiene cuatro opciones de la cuales se debe escoger una. A continuación, se describen las opciones:

- Nivel del agua: es utilizada cuando se tiene un dato del nivel del cauce brindado por un limnómetro.
- Tirante crítico: el programa calcula el tirante crítico de la sección y utiliza ese dato como nivel.

- Tirante normal: es utilizado cuando el flujo se aproxima al permanente, se ingrese el valor de la pendiente media del cauce.
- Curva de caudal: se utiliza cuando se tiene una curva que relaciona el caudal con el tirante determinada con un vertedero.

Para la simulación por realizar del río Chitá se utilizará el tirante normal, además se definirá tanto aguas arriba como aguas abajo considerando que en el tramo del río por evaluar el régimen del flujo irá variando entre régimen supercrítico y subcrítico.

#### **4.2.3. Análisis de flujo permanente**

Por último, para poder correr la simulación es necesario crear un 'plan' en el programa que consiste en indicar cuál será el régimen del flujo: supercrítico, subcrítico o mixto. Esta decisión está ligada a la decisión tomada en las condiciones de contorno, si el tirante normal se definió aguas arriba, abajo o en ambas. Para el caso analizado se ingresó el dato del tirante normal aguas arriba y abajo por lo tanto el régimen de flujo a escoger es mixto.

#### **4.2.4. Simulación hidráulica con HEC-RAS del río Chitá**

Contando con los datos de geometría, flujo permanente y definido el plan se llevó a cabo la simulación hidráulica en HEC-RAS del río Chitá.

#### 4.2.5. Resultado de datos tabulados de características hidráulicas de las secciones transversales del río Chitá

Al ejecutar el plan, el programa genera automáticamente una serie de tablas con los cálculos hidráulicos realizados para todas las secciones transversales, en cada uno de sus periodos de retorno. Estos valores son valiosos debido a que serán útiles en el próximo capítulo para determinar la propuesta de obra de protección.

A continuación, se presentarán algunos ejemplos de las tablas de las características hidráulicas de las secciones transversales, en los anexos se encuentran todas las tablas.

Tabla XIII. Características hidráulicas estación 0+200,00

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+200,00	2	77,11	2,47	31,22	302,52	300,26	18,21	0,57
0+200,00	5	103,27	2,24	52,56	303	300,26	48,3	0,46
0+200,00	10	125,53	2,41	59,12	303,13	300,26	49,82	0,49
0+200,00	20	131,59	2,36	63,28	303,22	300,26	52,34	0,47
0+200,00	25	132,87	4,3	30,94	302,5	300,26	17,57	0,99
0+200,00	30	134,46	4,29	31,39	302,53	300,26	18,58	0,98
0+200,00	50	135,72	4,27	31,92	302,56	300,26	19,68	0,97
0+200,00	100	136,58	4,24	32,41	302,58	300,26	20,66	0,96

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Características hidráulicas estación 0+400,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+400,00	2	77,11	2,31	35,72	306,95	304,95	32,03	0,57
0+400,00	5	103,27	2,52	45,42	307,22	304,95	38,72	0,58
0+400,00	10	125,53	2,62	54,29	307,44	304,95	43,96	0,57
0+400,00	20	131,59	2,64	56,76	307,49	304,95	45,31	0,57
0+400,00	25	132,87	2,64	57,27	307,5	304,95	45,58	0,57
0+400,00	30	134,46	2,65	57,91	307,52	304,95	45,93	0,57
0+400,00	50	135,72	2,65	58,42	307,53	304,95	46,2	0,57
0+400,00	100	136,58	2,65	58,76	307,54	304,95	46,38	0,57

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Características hidráulicas estación 0+600,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+600,00	2	77,11	2,3	41,12	311,82	310,03	65,1	0,6
0+600,00	5	103,27	2,81	44,58	311,87	310,03	65,24	0,72
0+600,00	10	125,53	2,99	49,89	311,95	310,03	65,45	0,75
0+600,00	20	131,59	3,01	51,59	311,98	310,03	65,52	0,75
0+600,00	25	132,87	3,02	51,91	311,98	310,03	65,53	0,75
0+600,00	30	134,46	3,02	52,31	311,99	310,03	65,55	0,75
0+600,00	50	135,72	3,03	52,62	311,99	310,03	65,56	0,75
0+600,00	100	136,58	3,04	52,83	312	310,03	65,57	0,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Características hidráulicas estación 0+800,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+800,00	2	77,11	2,84	27,13	317,69	315,78	33,05	1
0+800,00	5	103,27	3,19	32,41	317,84	315,78	33,44	1,03
0+800,00	10	125,53	3,47	36,19	317,96	315,78	33,71	1,07
0+800,00	20	131,59	3,54	37,16	317,99	315,78	33,78	1,08
0+800,00	25	132,87	3,55	37,39	317,99	315,78	33,8	1,08
0+800,00	30	134,46	3,54	37,98	318,01	315,78	33,84	1,07
0+800,00	50	135,72	3,59	37,85	318,01	315,78	33,83	1,08
0+800,00	100	136,58	3,6	37,92	318,01	315,78	33,84	1,09

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Características hidráulicas estación 1+000,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+0000	2	77,11	2,24	34,43	324,16	322,5	34,91	0,72
1+0000	5	103,27	2,51	41,13	324,35	322,5	35,48	0,74
1+0000	10	125,53	2,7	46,46	324,5	322,5	35,92	0,76
1+0000	20	131,59	2,75	47,86	324,54	322,5	36,12	0,76
1+0000	25	132,87	2,76	48,14	324,55	322,5	36,29	0,76
1+0000	30	134,46	2,77	48,5	324,56	322,5	36,49	0,76
1+0000	50	135,72	2,78	48,78	324,57	322,5	36,65	0,76
1+0000	100	136,58	2,79	48,97	324,57	322,5	36,76	0,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Características hidráulicas estación 1+200,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+200,00	2	77,11	3,35	23,49	331,2	329,57	22,8	0,94
1+200,00	5	103,27	3,4	32,44	331,53	329,57	31,29	0,87
1+200,00	10	125,53	2,61	58,94	331,69	329,57	69,79	0,64
1+200,00	20	131,59	2,74	58,94	331,69	329,57	69,79	0,67
1+200,00	25	132,87	2,76	58,94	331,69	329,57	69,79	0,68
1+200,00	30	134,46	2,8	58,94	331,69	329,57	69,79	0,69
1+200,00	50	135,72	2,82	58,94	331,69	329,57	69,79	0,69
1+200,00	100	136,58	2,84	58,94	331,69	329,57	69,79	0,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Características hidráulicas estación 1+400,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+400,00	2	77,11	2,88	26,74	337,25	335,42	18,41	0,76
1+400,00	5	103,27	3,44	30,48	337,42	335,42	26,17	0,86
1+400,00	10	125,53	3,48	38,82	337,68	335,42	35,56	0,81
1+400,00	20	131,59	3,5	40,77	337,73	335,42	35,95	0,81
1+400,00	25	132,87	3,5	41,17	337,74	335,42	36,03	0,81
1+400,00	30	134,46	3,51	41,65	337,76	335,42	36,12	0,8
1+400,00	50	135,72	3,52	41,93	337,76	335,42	36,17	0,81
1+400,00	100	136,58	3,52	42,25	337,77	335,42	36,24	0,8

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.6. **Resultado secciones transversales del río Chitá con caudales de períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100**

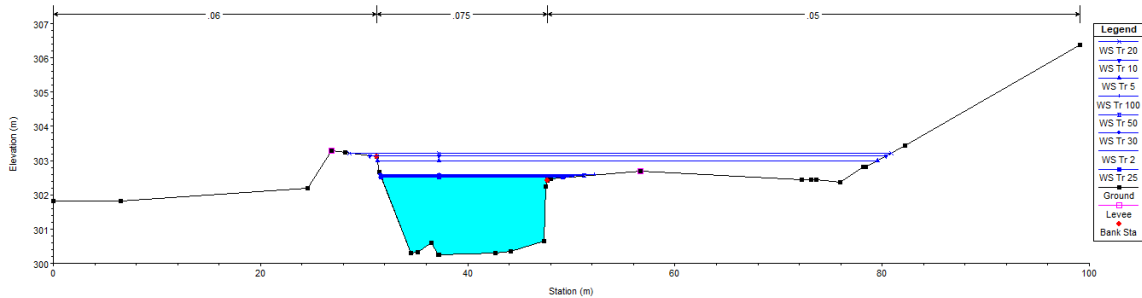
Las secciones transversales que se generan al ejecutar el plan se puede visualizar gráficamente los tirantes a cada período de retorno, permitiendo identificar las planicies de inundación del río. Es indispensable esta parte dentro



del modelo debido a que a partir de estas secciones transversales se trabajan las obras transversales para evitar las inundaciones del cauce.

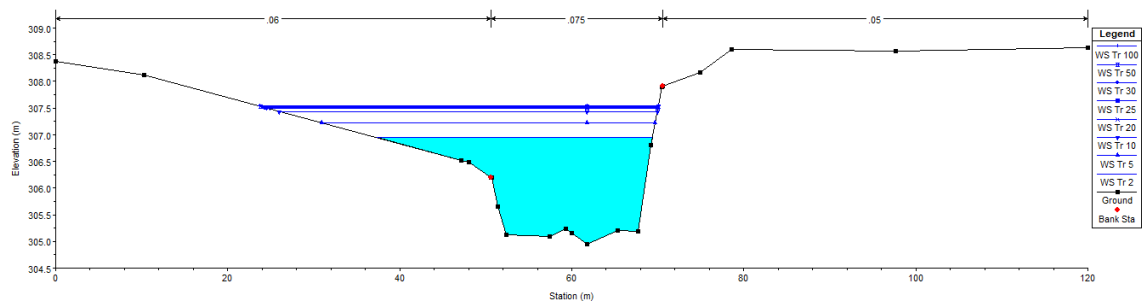
Al igual que con las tablas se procede a presentar algunas secciones transversales, en los apéndices se pueden encontrar completas.

Figura 18. **Sección transversal estación 0+200,00**



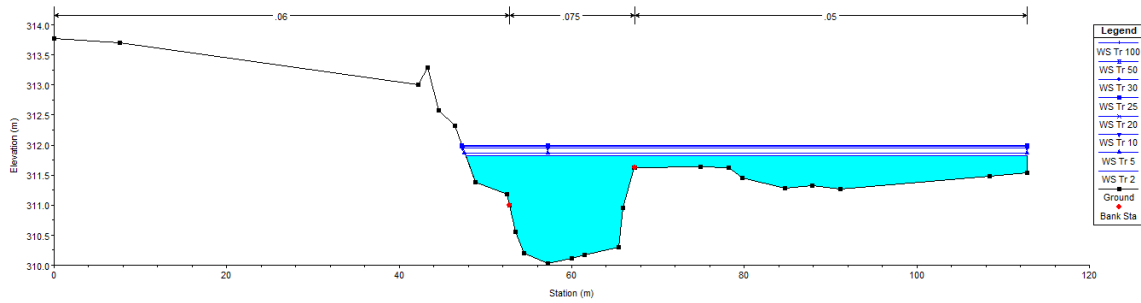
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 19. **Sección transversal estación 0+400,00**



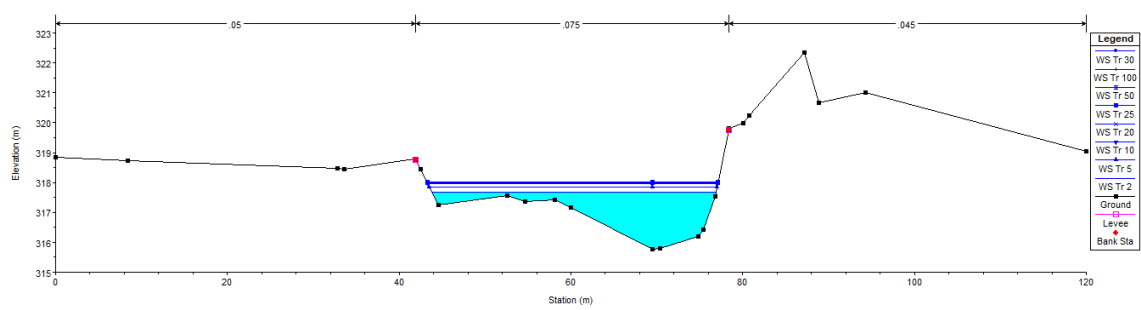
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 20. Sección transversal estación 0+600,00



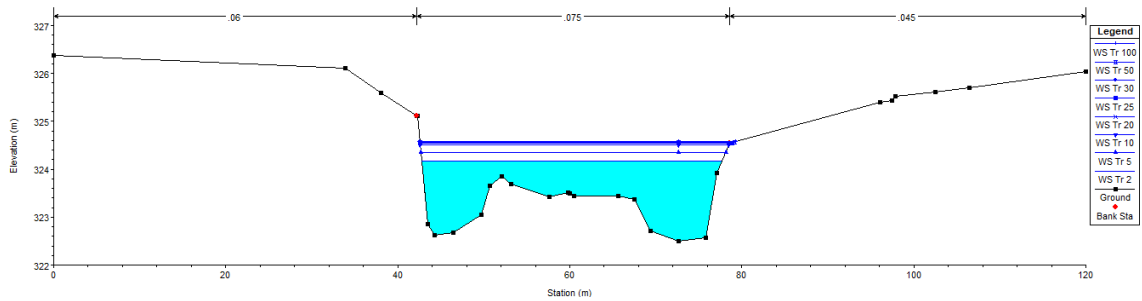
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 21. Sección transversal estación 0+800,00



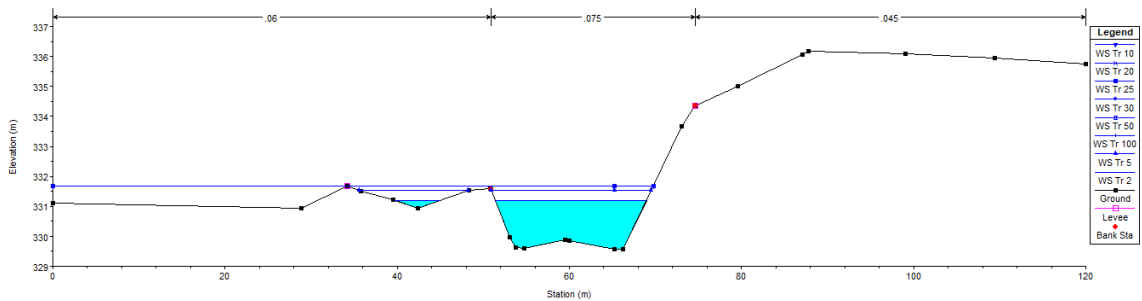
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

**Figura 22. Sección transversal estación 1+000,00**



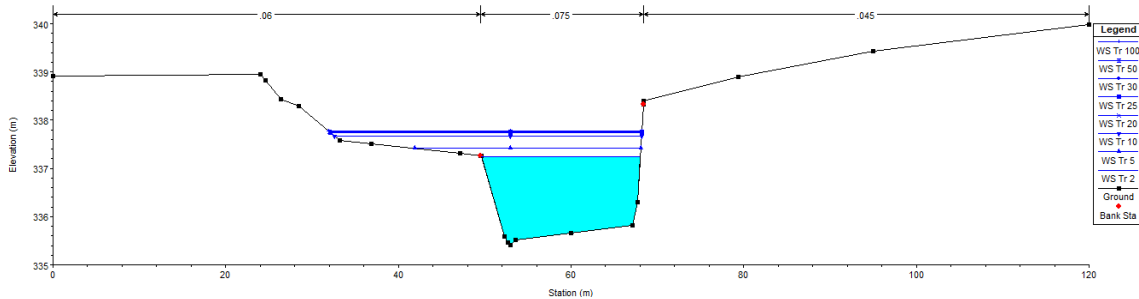
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

**Figura 23. Sección transversal estación 1+200,00**



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 24. **Sección transversal estación 1+400,00**



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

#### 4.2.7. Interpretación de simulación hidráulica

Luego de analizar las tablas, secciones, perfiles y mapas que se pueden obtener del programa se ha logrado observar que el río tiene un comportamiento mixto, tal y como se definió el modelo, debido a que a pesar de que en su mayoría se comporta como un régimen subcrítico existen tramos en los cuales es supercrítico.

Además, se logró observar los lugares donde es necesario la implementación de obras de protección lateral para evitar que el río se desborde.

Figura 25. **Planicie de inundación período de retorno 2 años**

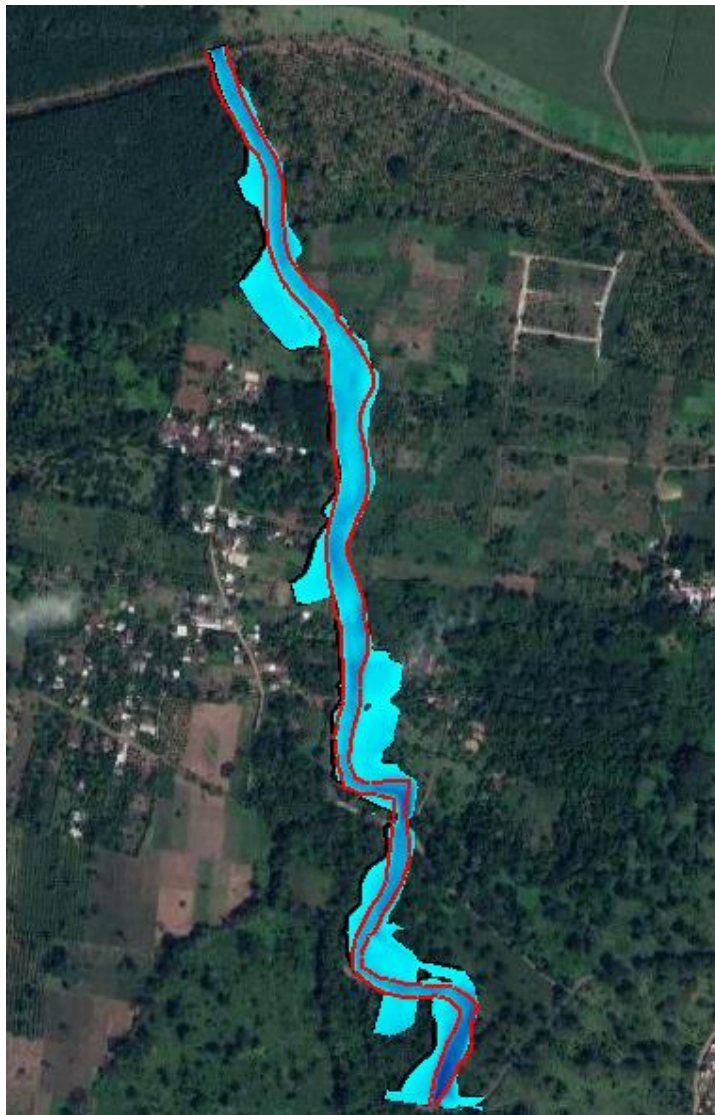


Fuente: elaboración propia, utilizando RAS MAPPER.

Se puede observar para un período de retorno de dos años se presentan ciertas planicies de inundación, una de ellas damnificando a la comunidad, por lo tanto, es necesaria la implementación de las obras de protección debido a que

con un periodo de retorno corto como el de dos años ya se presentan inundaciones que afectan a la comunidad. Al observar la misma imagen, pero para un periodo de retorno de 100 años las planicies crecen considerablemente sobre todo el tramo.

Figura 26. **Planicie de inundación período de retorno 100 años**



Fuente: elaboración propia, utilizando RAS MAPPER.

Otra de las observaciones son las claras planicies de inundación aguas abajo en el puente Chitá que conecta Mazatenango con San Rafael Tierras del Pueblo propenso a ser seriamente damnificado con una fuerte tormenta.





## **5. PROPUESTA DE LA OBRA DE PROTECCIÓN**

### **5.1. Descripción de las obras de protección**

Las obras de protección son cualquier tipo de intervención o arreglo en el tramo de un río, estas pueden ser longitudinales o transversales y pueden ser revestimientos naturales o artificiales en los taludes del cauce que primordialmente. La elección de cualquier obra de protección para un cauce debe ser en función de los objetivos que esta tenga.

#### **5.1.1. Objetivos de las obras de protección en un cauce**

Los objetivos que se tienen en un río pueden ser distintos y se pueden presentar en distintas combinaciones, por lo tanto, es importante conocer los objetivos de las obras de protección. El Dr. Juan Pedro Martín Vide en su libro *Ingeniería de ríos* establece los siguientes objetivos:

- Protección frente a las inundaciones: impedir o dificultar que el cauce se inunde para evitar el daño económico y sobre la vida humana que puede causar una inundación.
- Protección de los márgenes del río: impedir la destrucción de terrenos especialmente los límites del cauce, que puede tener influencia en el valor económico del terreno o de cualquier otro tipo.

- Fijación de un cauce estable para el río: asegurar que el río discurrirá en el futuro de modo permanente por dicho cauce para evitar la amenaza de los cambios de cauce del río.
- Mejor de las condiciones de desagüe: asegurar que el mayor caudal del agua pase en las condiciones deseadas, este objetivo está muy relacionado con el primero debido a que aumentando la capacidad de desagüe se persigue hacer más improbable la inundación.
- La formación o fijación de un canal navegable: garantizar una profundidad de agua suficiente para la navegación fluvial, bastante importante para establecer vías de transporte de mercancías.
- Recuperación de los valores naturales de un río: conseguir que un río vuelva a tener unos espacios de valor natural o recreativo.

### **5.1.2. Efectos de las obras de protección en un cauce**

Las obras de protección son intervenciones en un medio natural como lo es un río por lo cual se generan efectos dentro del mismo. Es importante conocer los efectos que se pueden llegar a tener tras la implementación de las obras de protección para intentar mitigar los mismos.

En algunos casos al implementar las obras se reduce la superficie de sedimentación causando el aumento del nivel del fondo del río se acelere, debido a esto varía la pendiente lo cual explica la sedimentación. Al aumentar el nivel de los fondos del río se acrecienta la posibilidad de un desbordamiento.

### **5.1.3. Obras transversales para control de inundaciones**

Las obras transversales reciben este nombre debido a que se construyen de forma transversal al río. Las obras transversales buscan solventar inconvenientes como la inestabilidad de laderas, socavación y pérdida de suelo en pequeños cursos de agua.

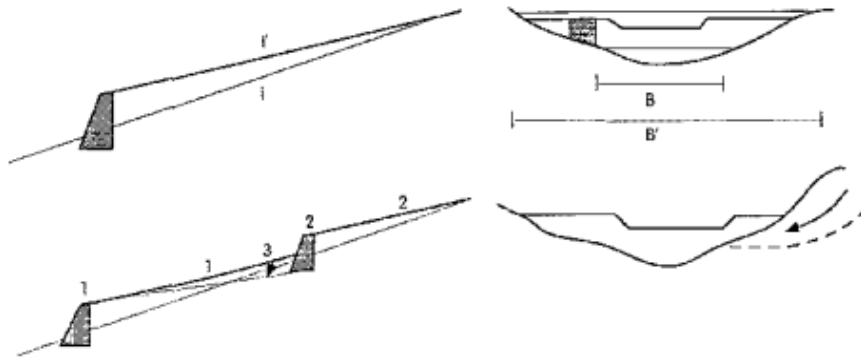
#### **5.1.3.1. Diques transversales**

Un dique transversal o pequeña presa es un elemento utilizado en la ingeniería de ríos en secciones más pequeñas, es decir, con mayor pendiente donde la erosión es más activa.

Alguna de sus funciones es retener los sólidos transportados para impedir que abandonen la cuenca, sin embargo, rara vez es importante esta función debido a que suele ser mucho mayor la cantidad de sedimentos que arrastra un río en una crecida a comparación del volumen de retención del dique.

Otra función es reducir la pendiente del cauce creando un escalón en el perfil longitudinal que se logra precisamente por la retención de sólidos en el dique lo cual ayuda a reducir la velocidad y el transporte de sedimentos. Esta función solo puede ser cumplida de manera satisfactoria por varios diques, colocados aguas arriba del primero.

Figura 27. **Función de los diques transversales**



Fuente: MARTÍN, Juan. *Ingeniería de ríos*. p. 131.

También se consigue con diques transversales disipar la energía cinética de la corriente moderando la erosión aguas abajo, además se busca consolidar las laderas inestables para evitar deslizamientos.

### 5.1.3.2. **Diques transversales con nuevas funciones**

Uno de los efectos que generan los diques transversales es la erosión aguas abajo siendo este el principal defecto de este tipo de obras. Para combatir este tipo de inconvenientes se han desarrollado diques con nuevas funciones.

Una de estas funciones es retener los sólidos gruesos en grandes avenidas permitiendo que en avenidas ordinarias los vayan transportando, este tipo de dique tiene una apertura vertical al centro con un ancho que permite que las crecidas anuales transportes los sólidos almacenados. Además, existen diques con ranuras horizontales que buscan retener los sólidos muy gruesos.

Figura 28. **Diques transversales con nuevas funciones**



Fuente: MARTÍN, Juan. *Ingeniería de ríos*. p. 132.

La última sección tiene la función de detener, frenar o romper las velocidades de grandes crecidas, mediante estructuras, a modo de peines, resistentes al impacto dinámico.

#### **5.1.4. Obras longitudinales para control de inundaciones**

Las obras longitudinales reciben este nombre debido a que se ubican en las orillas o laderas del cauce con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente. A continuación, se nombran algunas de las estructuras utilizadas para el control de inundaciones.

##### **5.1.4.1. Gaviones**

Los gaviones son estructuras prismáticas rectangulares hechas con malla de triple torsión que son rellenos, en la mayoría de casos, con material cercano a la obra donde serán utilizadas.

Con los gaviones se construyen estructuras capaces de resistir por gravedad, formadas al colocar caja de gavión una sobre otra. Se caracterizan por su flexibilidad ya que permite su construcción en terrenos irregulares, así como otras ventajas como la durabilidad, resistencia y economía.

Figura 29. **Muros de gaviones**



Fuente: Concepto definición. *Gavión*. <https://conceptodefinicion.de/gavion/>. Consulta: abril de 2020.

#### **5.1.4.2. Espigones**

Los espigones se pueden definir como como diques no longitudinales sino transversales a la corriente, colocados en la orilla y con cierta pendiente hacia el centro del eje del cauce.

Los espigones pueden ser construidos como enrocados, gaviones, madera, prefabricado de concreto, entre otros. El efecto que tiene en el río es de desplazar las aguas y el cauce más hondo hacia el centro.

Figura 30. **Espigones**



Fuente: ROCHA, Arturo. *Espigones en el río Chitá*. [http://apiperu.com.pe/wp-content/uploads/presentaciones/hidraulica/espigones\\_actualizado\\_junio\\_2015.pdf](http://apiperu.com.pe/wp-content/uploads/presentaciones/hidraulica/espigones_actualizado_junio_2015.pdf). Consulta: abril de 2020.

#### **5.1.4.3. Diques marginales**

Es una obra longitudinal construida en las orillas del cauce, que tiene como objetivo encauzar el flujo del río para proteger los márgenes o rectificar el cauce. Los diques marginales pueden ser hechos con arena o grava siempre revestidos con enrocado o gaviones.

Este tipo de obras suelen aplicarse al final de encauzamientos, revestimientos y defensas y a todo lo largo de tramos encauzados. La principal preocupación al implementar diques marginales es la erosión que se genera en los pies de estos, que pueden terminar perjudicando la cimentación de la estructura.

#### 5.1.4.4. Enrocado de protección

El enrocado de protección, escollera o *rip rap revetment* es una obra de protección longitudinal que está formada por una agrupación de elementos pétreos naturales, los elementos que la conforman se colocan sin algún mortero de pega. Este tipo de estructura tiene como objetivo proteger los taludes de las márgenes de los ríos. La estabilidad del enrocado se debe al peso propio de sus elementos. Mediante el enrocado de protección se pueden construir estructuras independientes como espigones o diques marginales.

Figura 31. Enrocado de protección



Fuente: Egionlima. *Enrocado del río Rímac*.

<https://www.regionlima.gob.pe/index.php/noticias/719-descolmatacion-y-enrocado-del-rio-rimac-presentan-un-70-de-avance>. Consulta: abril de 2020.

## 5.2. Análisis y propuesta del caso

Para clasificar es importante conocer su régimen hidrológico determinado por las características de la cuenca y las precipitaciones. En el caso del río Chitá



se encuentra en el régimen de bocacosta que tiene una fuerte y regular estacionalidad, causando en el río un largo periodo de aguas altas.

El río Chitá tiene las características de un río aluvial, debido a que el mismo fluye por material sedimentario y además en el lecho del río existe cierto espesor de material granular suelto. El inconveniente que suele presentarse con este tipo de ríos es que el material suelto suele ocupar una mayor extensión horizontal que el cauce del río, por lo tanto, es bastante común que se formen planicies de inundación en estos ríos donde suelen presentarse actividades humanas.

Figura 32. **Características aluviales río Chitá (A)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Características aluviales río Chitá (A)**



Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente las obras de protección deben seleccionarse según el objetivo que se busca con la obra de encauzamiento, en el caso del río Chitá se busca la protección frente a las inundaciones. Al realizar el levantamiento topográfico se realizó una inspección visual y registro de imágenes sobre el estado del río.

Se observó en varios tramos la presencia de erosión en los márgenes del río, en especial en el área crítica donde está asentada la población del cantón Chitá. Por lo tanto, otro objetivo de la obra de encauzamiento es evitar que continúe la destrucción de los límites del río.

Figura 34. **Márgenes del río Chitá (A)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Márgenes del río Chitá (B)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Márgenes del río Chitá (C)**



Fuente: elaboración propia.

Para cumplir con ambos objetivos: protección contra inundaciones y protección de los márgenes del río se propone la implementación de un enrocado de protección 'riprap revetment' en el río.

### **5.3. Diseño de la obra de protección**

El enrocado de protección como se mencionó anteriormente es una unidad formada por la agrupación de elementos pétreos naturales. Por lo tanto, para llevar a cabo su diseño es necesario establecer la extensión longitudinal y vertical, estos parámetros son necesarios para determinar el tamaño de la roca, con este valor se puede determinar el espesor de obra. Con los datos

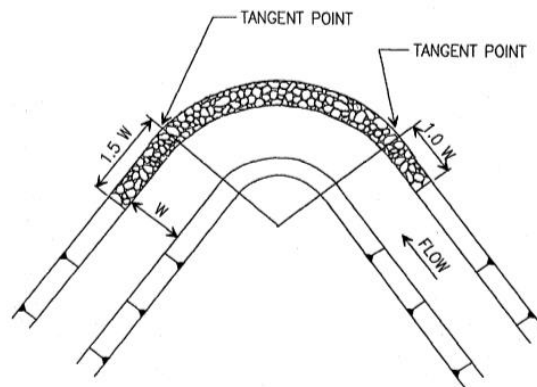
mencionados se puede establecer secciones transversales típicas y poner a prueba el modelo nuevamente en HEC-RAS.

### 5.3.1. Extensión longitudinal de la protección

La extensión longitudinal de la protección requerida para una obra de protección es altamente dependiente de las condiciones del sitio. En general el recubrimiento debería ser continuo por una distancia mayor que la longitud que es impacta por el flujo del río con fuerzas suficientemente fuertes como para desprender o transportar material del río.

En el capítulo 3 del manual de diseño *Design of Riprap Revetment* publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, se establece un criterio para poder determinar la distancia que debe tener el enrocado, indicando que debe tener una longitud mínima aguas arriba equivalente al ancho del río mientras que aguas abajo se recomienda una longitud de 1,5 el ancho del río como se puede observar a continuación.

Figura 37. Extensión longitudinal de la protección



Fuente: US Army Corps of Engineers. *Design of RipRap Revetment*. p. 24.

Es importante mencionar que este criterio se determinó mediante el estudio de las condiciones de flujo en curvas de canales simétricos en condiciones ideales de laboratorio. En la vida real es poco común encontrar este tipo de condiciones, por lo tanto, este criterio debe ser utilizado únicamente como un punto de partida.

### 5.3.1.1. Tramos por proteger

Al analizar las planicies de inundación calculadas con RAS Mapper (figuras 25 y 26) se determinaron los tramos por proteger siendo identificados de la siguiente manera:

Tabla XX. Tramos por proteger

Tramo	Inicio	Final	Margen	Ancho del río (m)	Extensión aguas abajo (m)	Extensión aguas arriba (m)
TRAMO1	0+000,00	0+060,00	Derecho	18,00	27,00	18,00
TRAMO2	0+000,00	0+560,00	Izquierdo	16,40	24,60	16,40
TRAMO3	0+440,00	0+760,00	Derecho	25,80	38,70	25,80
TRAMO4	0+820,00	0+940,00	Izquierdo	27,23	40,85	27,23
TRAMO5	1+100,00	1+420,00	Izquierdo	22,40	33,60	22,40

Fuente: elaboración propia.

Para calcular la longitud total se utilizó el criterio de aumentar la longitud de la protección 1,5 el ancho del río aguas abajo y 1,00 aguas arriba. Para facilitar la ubicación de las obras de protección se aproximará la extensión de estas al estacionamiento múltiplo de cinco mayor.

Tabla XXI. **Longitudes totales de las bordas**

<b>Tramo</b>	<b>Inicio</b>	<b>Final</b>	<b>Margen</b>	<b>Longitud total (m)</b>
<b>Tramo1</b>	0+000,00	0+080,00	Derecho	80,00
<b>Tramo2</b>	0+000,00	0+580,00	Izquierdo	580,00
<b>Tramo3</b>	0+400,00	0+790,00	Derecho	390,00
<b>Tramo4</b>	0+775,00	0+970,00	Izquierdo	395,00
<b>Tramo5</b>	1+065,00	1+445,00	Izquierdo	380,00

Fuente: elaboración propia.

En los planos se puede observar de mejor manera la ubicación de los tramos en el río.

### 5.3.1.2. Tamaño de la roca

El tamaño de la roca tiene una gran importancia en este tipo de obras debido a que al no ser una estructura monolítica su estabilidad depende al peso propio de los elementos que la conforman. Para determinar el tamaño de la roca se utilizará la ecuación del capítulo 4 del manual de diseño *Design of Riprap Revetment* publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

$$D_{50} = \frac{0,00549 * V_a^3}{D_{avg}^{0,50} * K_1^{1,50}}$$

Donde:

D<sub>50</sub>= tamaño promedio de la roca (m)

$V_a$ = velocidad promedio en el canal principal (m/s)

$d_{av}$ = profundidad promedio de flujo en el canal principal (m)

$K_1$ = constante adimensional

$$K_1 = \left(1 - \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}\right)\right)^{0,5}$$

Donde:

$\Theta$  = ángulo de la obra de protección con la horizontal

$\Phi$  = ángulo de reposo del enrocado

El ángulo de la obra de protección con la horizontal es un parámetro para el cálculo de la borda libre por oleaje y para el cálculo del tamaño de la roca, entre menor sea el ángulo con la horizontal menor será el tamaño de la roca por utilizar en las bordas. Para este caso se empleará una relación 1,5:1 equivalente a un ángulo de 33,69° considerando en la extensión que pueden llegar a tener se decidió no proponer un ángulo menor.

Para escoger el ángulo de reposo del material se utilizó la siguiente tabla:

Tabla XXII. **Ángulo de reposo para distintos materiales**

<b>Material</b>	<b>Ángulo de fricción <math>\theta</math> (°)</b>
Riprap (enrocado)	40
Sistemas llenos de arena	30 a 40
Revestimientos de concreto o bloques unidos por cables	90
Revestimientos unidos pero flexibles	70



Continuación tabla XXII.

Mantos de geotextil	15 a 20
---------------------	---------

Fuente: SUÁREZ, Jaime. *Control de erosión en zonas tropicales*. p. 412.

Por último, se calcula un factor de corrección del tamaño de la roca con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1,61SF^{1,5}}{(S_s - 1)^{1,5}}$$

Donde:

SF= factor de estabilidad

S<sub>s</sub>= gravedad específica de la roca

El valor de la gravedad específica de la roca suele utilizarse como 2,65, mientras que para escoger el factor de estabilidad se utiliza la siguiente tabla:

Tabla XXIII. **Factor de estabilidad**

<b>Condición</b>	<b>Rango del factor de estabilidad</b>
Flujo uniforme; Tramo recto o medianamente curvo (radio de curva/ancho del canal > 30); El impacto por la acción de las olas y residuos flotantes son mínimos; Poca o ninguna incerteza de los parámetros de diseño.	1,00 - 1,20
Flujo gradualmente variado: Moderada curvatura en las curvas (30 > radio de curva/ancho del canal > 10); Impacto moderado por la acción de las olas o residuos flotantes.	1,30 - 1,60
Flujo rápidamente variado; Brusco radio de curvatura (10 > radio de curva/ancho de canal); Impacto potencial significativo de material de desechos flotante y/o hielo; Viento y/o olas generadas por botes (barcos, lanchas, etc) significativas (0.30 - 0.61m); Elevado flujo turbulento; Turbulento flujo mixto en estribos de puentes; Significativa incerteza en parámetros de diseño.	1,60 - 2,00

Fuente: US Army Corps of Engineers. *Design of RipRap Revetment*. p. 31.

El factor de estabilidad se escogió luego de evaluar la relación del radio de curvatura y el ancho del río en las curvas de los tramos a proteger. Usando de guía este parámetro se determinaron relaciones menores a 10 por lo que se utilizó un factor de 1,80.

A continuación, se presentan las tablas con los resultados del tamaño de la roca en función de los valores establecidos en este inciso. Las velocidades y profundidades medias del río se determinaron con las tablas de las características hidráulicas de las secciones transversales obtenidas en el programa HEC RAS que se pueden encontrar en los apéndices.

Tabla XXIV. **Velocidad y profundidad media en el río**

<b>Tramo</b>	<b>Inicio</b>	<b>Final</b>	<b>Velocidad promedio (m/s)</b>	<b>Profundidad promedio (m)</b>
<b>Tramo1</b>	0+000,00	0+080,00	1,76	5,14
<b>Tramo 2</b>	0+000,00	0+580,00	2,60	3,28
<b>Tramo 3</b>	0+400,00	0+790,00	2,99	2,56
<b>Tramo 4</b>	0+775,00	0+970,00	2,89	2,20
<b>Tramo 5</b>	1+065,00	1+445,00	3,03	2,13

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Tamaño de roca**

<b>Tramo</b>	<b>Factor K</b>	<b>D<sub>50</sub></b>	<b>SF</b>	<b>Ss</b>	<b>C</b>	<b>'D<sub>50</sub></b>
<b>Tramo 1</b>	0,5053	0,0398	1,80	2,65	1,83	<b>0,07</b>
<b>Tramo 2</b>	0,5053	0,1605	1,80	2,65	1,83	<b>0,29</b>
<b>Tramo 3</b>	0,5053	0,2763	1,80	2,65	1,83	<b>0,51</b>
<b>Tramo4</b>	0,5053	0,2691	1,80	2,65	1,83	<b>0,49</b>
<b>Tramo 5</b>	0,5053	0,3152	1,80	2,65	1,83	<b>0,58</b>

Fuente: elaboración propia.

Teniendo el diámetro medio del tamaño de la roca es posible calcular el peso medio de la roca, una característica bastante útil de conocer para su construcción. Para calcular la misma se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_{50} = 540 * D_{50}^3 * S_s$$

Donde:

$W_{50}$  = peso medio de la roca (Kg)

$D_{50}$  = diámetro medio de la roca (m)

$S_s$  = gravedad específica de la roca

Tabla XXVI. **Peso medio de la roca**

<b>Tramo</b>	<b>Inicio</b>	<b>Final</b>	<b>'D<sub>50</sub></b>	<b>Ss</b>	<b>W<sub>50</sub></b>
<b>Tramo 1</b>	0+000,00	0+080,00	0,07	2,65	0,54
<b>Tramo 2</b>	0+000,00	0+580,00	0,29	2,65	35,44
<b>Tramo 3</b>	0+400,00	0+790,00	0,51	2,65	180,83
<b>Tramo 4</b>	0+775,00	0+970,00	0,49	2,65	167,12
<b>Tramo 5</b>	1+065,00	1+445,00	0,58	2,65	268,54

Fuente: elaboración propia.

### **5.3.2. Extensión vertical**

La extensión vertical de la protección se puede dividir en tres partes: altura de la borda, borda libre y cimentación. En cada una de ellas se toman variables fundamentales como el tirante máximo en la sección, oleaje (por viento o navegación) y la erosión.

#### **5.3.2.1. Altura de la borda**

La altura de la borda depende del análisis hidráulico de los tirantes máximos de agua, que varían dependiendo del periodo de diseño. Se utilizará la profundidad máxima de cada tramo para un periodo de retorno de 100 años para el cálculo de la profundidad de erosión.

Tabla XXVII. **Tirantes máximos por tramo**

<b>Tramo</b>	<b>Inicio</b>	<b>Final</b>	<b>Profundidad máxima (m)</b>
<b>Tramo 1</b>	0+000,00	0+080,00	6,28
<b>Tramo 2</b>	0+000,00	0+580,00	6,28
<b>Tramo 3</b>	0+400,00	0+790,00	4,44
<b>Tramo 4</b>	0+775,00	0+970,00	2,80
<b>Tramo 5</b>	1+065,00	1+445,00	2,76

Fuente: elaboración propia.

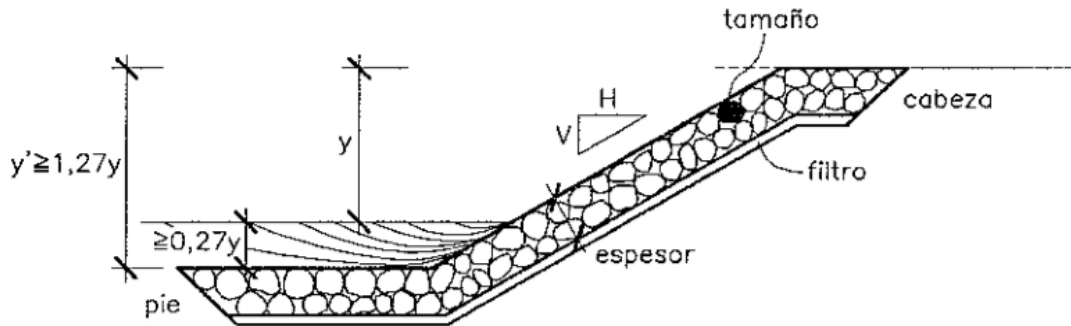
#### **5.3.2.2. Borda libre**

En el manual de diseño *Design of Riprap Revetment* se presenta un método para el cálculo de la altura de la ola generada por el viento y la altura máxima que esta puede alcanzar al impactar con el enrocado. Para realizar este cálculo se precisa de datos de la velocidad del viento, como no se tienen esos datos se optó por la altura mínima recomendada de 0,61 m.

#### **5.3.2.3. Profundidad de erosión**

En proyectos de enrocado es importante prestarle atención a la cimentación, una de las principales razones de la falla es la socavación del pie de cimentación. El talud de la borda debe enterrarse hasta la profundidad adecuada frente a la erosión.

Figura 38. **Profundidad de erosión**



Fuente: MARTÍN, Juan. *Ingeniería de ríos*. p. 217.

En el capítulo 6 del libro de *Ingeniería de ríos* se establece una profundidad de cimentación dada por  $0,27y$  siendo “ $y$ ” el tirante de la sección en estudio, este valor es utilizado para calcular la profundidad en una recta por lo sería lógico como valor mínimo.

Tabla XXVIII. **Profundidad de erosión**

Tramo	Profundidad máxima (m)	$0,27y$ (m)	D100 (m)
Tramo 1	6,28	1,70	0,15
Tramo 2	6,28	1,70	0,59
Tramo 3	4,44	1,20	1,01
Tramo 4	2,8	0,76	0,99
Tramo 5	2,76	0,75	1,16

Fuente: elaboración propia.

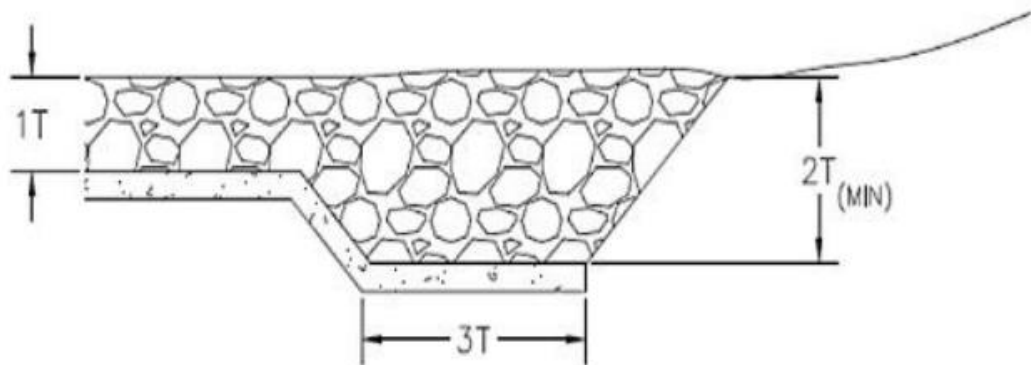
Para hacer un cálculo más preciso es necesario hacer el cálculo de la erosión potencial, tomando en cuenta por lo menos la erosión general (erosión transitoria, largo plazo y erosión en curvas). Sin embargo, para llevar a cabo estos

cálculos es necesario realizar la granulometría del material del río debido a que el tamaño medio es un valor esencial en el cálculo de erosión.

#### 5.3.2.4. Profundidad del pie de cimentación

En el capítulo 4 manual de diseño *Design of Riprap Revement* se propone en el siguiente esquema dar un mínimo de dos veces el espesor de la obra a la cimentación.

Figura 39. Profundidad del pie de cimentación



Fuente: US Army Corps of Engineers. *Design of RipRap Revetment*. p. 43.

A continuación, se muestra una tabla comparando los valores asumiendo que el espesor de la obra será de  $2 \cdot D_{50}$  como se justificará más adelante.

Tabla XXIX. **Profundidad del pie de cimentación**

<b>Tramo</b>	<b>2D<sub>50</sub> (m)</b>
<b>Tramo 1</b>	0,15
<b>Tramo 2</b>	0,59
<b>Tramo 3</b>	1,01
<b>Tramo 4</b>	0,99
<b>Tramo 5</b>	1,16

Fuente: elaboración propia.

### **5.3.3. Espesor de la obra**

El espesor de la protección es un factor muy importante para la efectividad de la obra, es esencial en la resistencia del arrastre bajo una corriente. Uno de los criterios que se tiene es que debe tener por lo menos dos capas de elementos.

Tomando en cuenta el considerable tamaño medio de la roca en los distintos tramos se considera que el espesor sea equivalente a  $2 \cdot D_{50}$  o sea al menos dos capas del material que se recomienda como espesor mínimo para una escollera.

Otros criterios que suelen utilizarse es que el espesor debe ser como mínimo mayor a 30 cm o  $D_{100}$ .

### **5.3.4. Diseño del filtro**

El enrocado de protección necesita un filtro para evitar la migración y pérdida de material del substrato por la acción hidrodinámica. De perderse el substrato la borda se hundiría perdiendo su utilidad.



Para llevar a cabo el diseño del filtro es necesario aplicar las condiciones de filtro dadas en el capítulo 4 del manual de diseño *Design of Riprap Revement*:

$$\frac{D_{15}(\text{capa más gruesa})}{d_{85}(\text{capa más fina})} < 5 < \frac{D_{15}(\text{capa más gruesa})}{d_{15}(\text{capa más fina})} < 40$$

El procedimiento de diseño es corroborar que el diámetro del filtro propuesto chequee con las condiciones anteriores tanto con la capa del suelo del río como con el tamaño de la roca.

Considerando que únicamente se cuenta con los datos del enrocado únicamente se hará este chequeo, para tener un mismo criterio se utilizará relaciones de 4 para determinar  $d_{85}$  y 35 para  $d_{15}$ . Además, se tomará el valor de  $D_{15}$  como el 15 % de  $D_{100}$  considerando que es igual a dos veces  $D_{50}$ . A continuación se presenta la tabla de resultados del diseño del filtro.

Tabla XXX. **Resultados diseño del filtro**

<b>Tramo</b>	<b>D15 (m)</b>	<b>d85 (m)</b>	<b>d15 (m)</b>
<b>Tramo 1</b>	0,0219	0,0055	0,0006
<b>Tramo 2</b>	0,0883	0,0221	0,0025
<b>Tramo 3</b>	0,1521	0,0380	0,0043
<b>Tramo 4</b>	0,1481	0,0370	0,0042
<b>Tramo 5</b>	0,1735	0,0434	0,0050

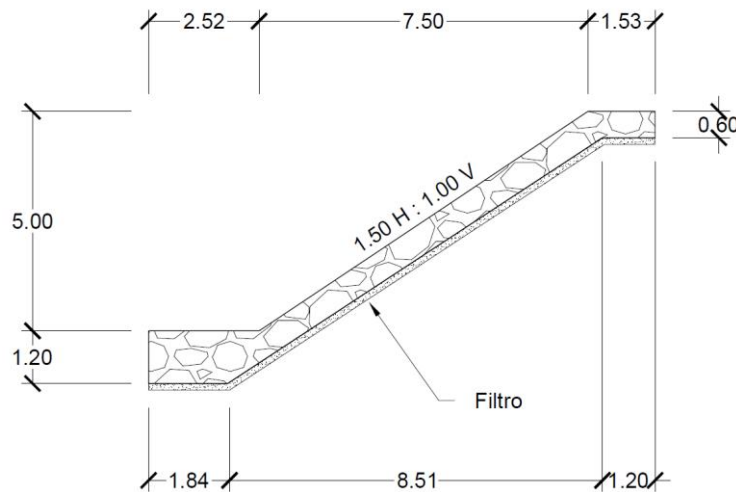
Fuente: elaboración propia.

Observando los resultados se propone un filtro uniforme de 50mm en todos los tramos al observar que cumpliría con las condiciones de filtro.

### 5.3.5. Sección típica

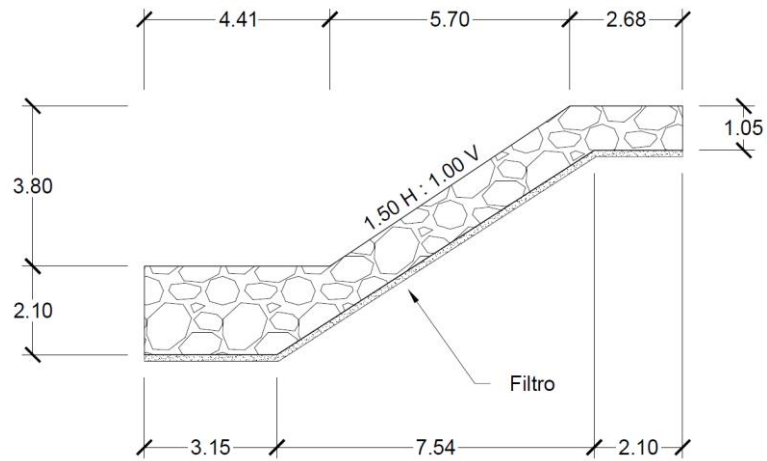
Considerando todos los parámetros calculados anteriormente se logró establecer las secciones típicas para cada tramo que se muestran a continuación. Al analizar los resultados se determinó usar la misma sección típica para el tramo 1 y 2, considerando que el tramo uno presentó valores muy bajos debido a los tirantes altos y la baja pendiente en ese tramo por lo tanto se utilizará los valores del tramo 2 teniendo así una borda más estable.

Figura 40. Sección típica para tramos 1 y 2



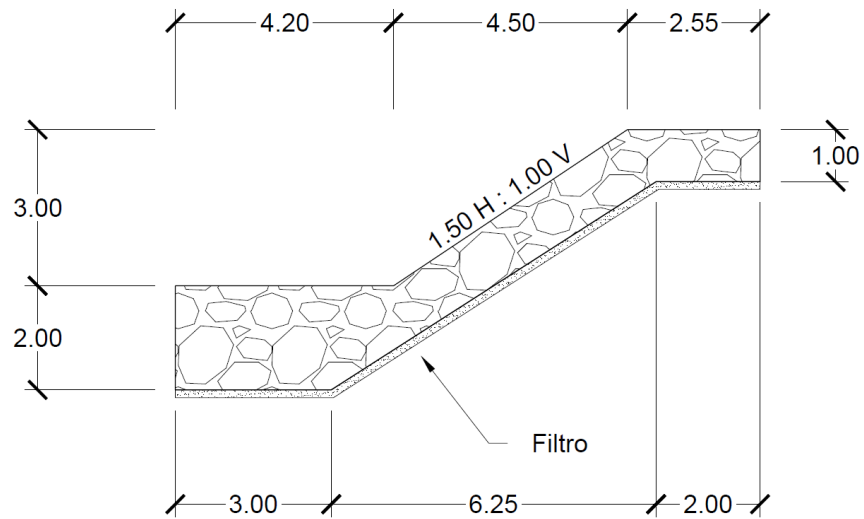
Fuente: elaboración propia, utilizando Autodesk Civil 3D 2020.

Figura 41. **Sección típica tramo 3**



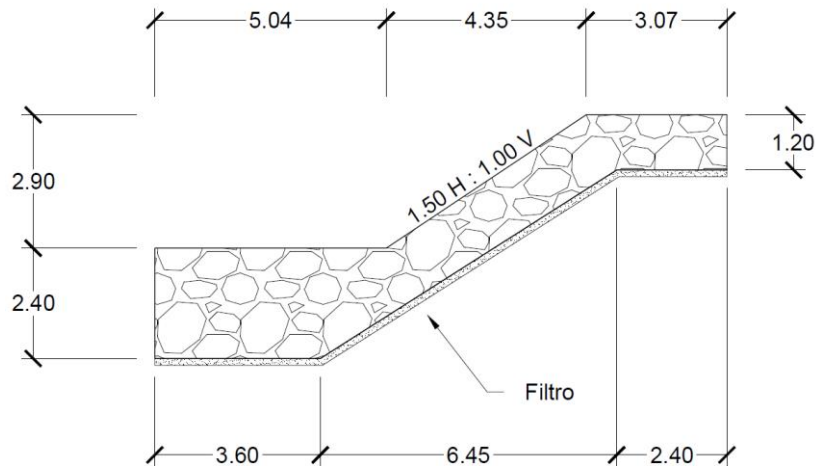
Fuente: elaboración propia, utilizando Autodesk Civil 3D 2020.

Figura 42. **Sección típica tramo 4**



Fuente: elaboración propia, utilizando Autodesk Civil 3D 2020.

Figura 43. **Sección típica tramo 5**



Fuente: elaboración propia, utilizando Autodesk Civil 3D 2020.

### 5.3.6. Especificaciones técnicas de la roca

La roca por utilizar de preferencia debería ser angular de canto rodado, lo contrario de lo que en nuestro medio se conoce como “piedra bola”. Además, es importante chequear las siguientes propiedades de la roca para poder ser colocada en la borda.

- Abrasión: el enrocado se verá afectado por la acción del material transportado por el río, es necesario realizar el ensayo con la máquina de Los Ángeles (AASHTO T96), la roca no debe tener un porcentaje de pérdida mayor a 40 después de 500 revoluciones.
- Resistencia a sulfatos: necesario de realizar si la roca está expuesta a aguas salitrosas debe ser llevado a cabo un ensayo de resistencia a sulfatos (AASHTO T 104 para roca expuesta, usando sulfato de sodio).

- Densidad de la roca: la cualidad esencial de cada elemento es su peso, puede ser calculado por un ensayo hidrostático (peso más común es  $2,65 \text{ T/m}^3$ ).



## **6. RECTIFICACIÓN HIDRÁULICA CON LAS OBRAS DE PROTECCIÓN**

### **6.1. Creación de nueva superficie con obras propuesta implementadas para simulación hidráulica**

Para generar la nueva información de geometría por utilizar para realizar la simulación del río en HEC RAS se utilizará el programa Autodesk Civil 3D, el cual se utilizó para procesar los datos del levantamiento topográfico realizado para hacer el estudio del río Chitá. El programa cuenta con una serie de herramientas que facilitan la generación de una nueva superficie con las obras para encauzar el río, así como también una exportación de información compatible con HEC-RAS.

La mejor forma para recrear una superficie más apegada a la realidad es mediante la creación de un corredor, utilizado para el diseño de obras lineales que es el caso de las protecciones en el borde del cauce.

#### **6.1.1. Elementos para crear un corredor**

Como recién se mencionó un corredor es una función utilizada para el diseño de obras lineales por lo tanto precisa que el usuario brinde una serie de datos para poder crear el mismo. A continuación, se enumeran las siguientes:

- Información en planta: se necesita crear un alineamiento horizontal que es el encargado de brindar información del eje central que tendrá la borda en planta.

- Información de rasante: se necesita crear un perfil del terreno natural del alineamiento horizontal creado para poder definir un perfil de diseño que será el que defina el comportamiento del eje central en elevación.
- Información de sección transversal: se necesita crear un ensamblaje en el programa que indique la geometría de la sección transversal que se ubicará en el alineamiento, así como si está tiene taludes de relleno o corte para definir sus pendientes y su superficie objetivo más adelante.

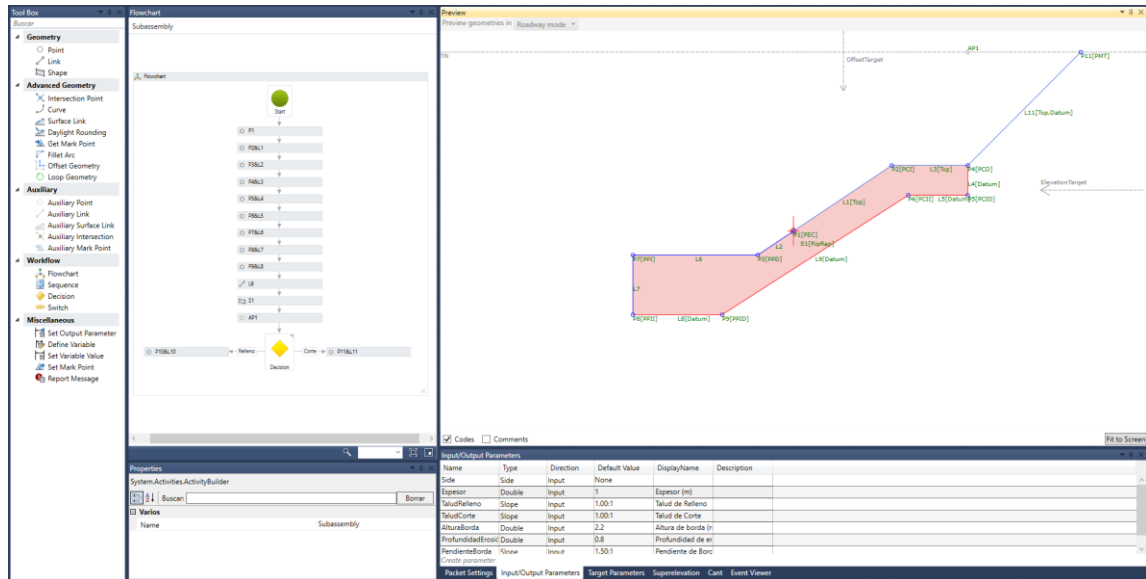
De todas estas mencionadas se considera importante aclarar que para crear la sección transversal de una borda de RipRap como la que se diseñó en el capítulo 5, es necesario crear una nueva en el programa *Autodesk Subassembly Composer* debido a que una borda de este tipo no viene incluida en los subensamblajes precargados en la paleta de herramientas del programa Autodesk Civil 3D.

#### **6.1.1.1. Creación de subensamblaje**

La interfaz del programa *Autodesk Subassembly Composer* es bastante práctica al ser una aplicación de programación visual que permite crear variables de forma sencilla para asignarlos a los valores de la sección transversal.



Figura 44. Creación de subensamblaje



Fuente: elaboración propia, en Autodesk Subassembly Composer 2020.

Evaluando el caso de la borda diseñada para los distintos tramos para el río Chitá, se tomaron en cuenta algunos criterios necesarios para facilitar la ubicación de la sección transversal y la creación de la superficie.

Primero se fijó el punto de origen de la sección en el programa, entre la altura propia de la borda y la profundidad de entierro de la cimentación para protección por la erosión (tabla XXVIII) esto con el objetivo que el punto de origen es el punto exacto que se alinea al eje central trazado (alineamiento horizontal) y la información del perfil. Además, como se puede observar en los enlaces 1, 3 y 11 entre corchetes la palabra Top un código que sirve para poder generar la superficie del corredor únicamente en los enlaces que tengan ese código.

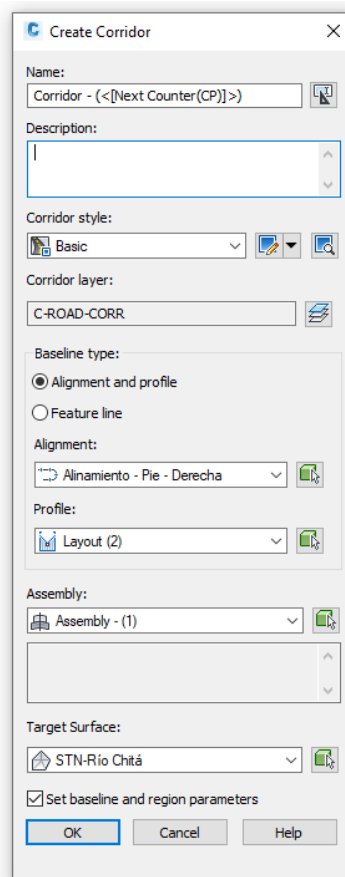
La razón de colocar únicamente el código Top en esas líneas es porque son en teoría las únicas de la borda que estarán por encima de la superficie del

terreno natural, lo demás quedará enterrado por lo tanto pasa a ser despreciable para la creación de la superficie.

### 6.1.2. Creación de corredor y nueva superficie

Con los elementos definidos por el usuario es posible crear el corredor estableciendo los datos correspondientes como se pueden ver en la siguiente imagen.

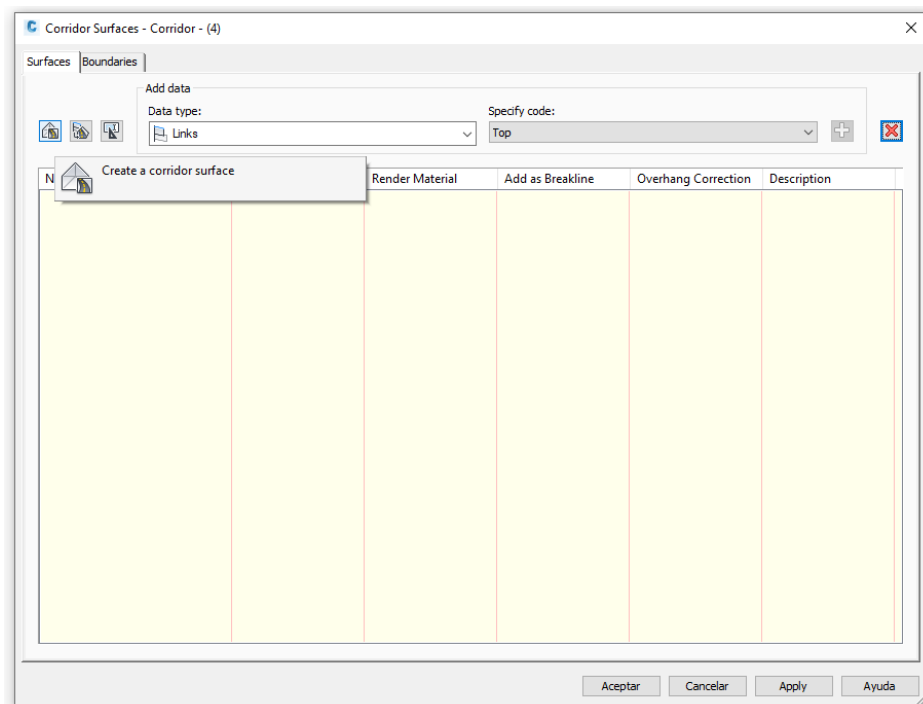
Figura 45. Creación de corredor



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Con el corredor creado, se selecciona el mismo con clic izquierdo y en la barra de herramientas se ubica y selecciona la opción de Corridor surfaces, en la ventana emergente se selecciona el botón que se puede observar en la figura #46. Luego de haber seleccionado el botón Create a corridor surface, se selecciona en la caja de texto el código 'Top' y se oprime el botón con signo de más para agregarlo a la superficie por crear.

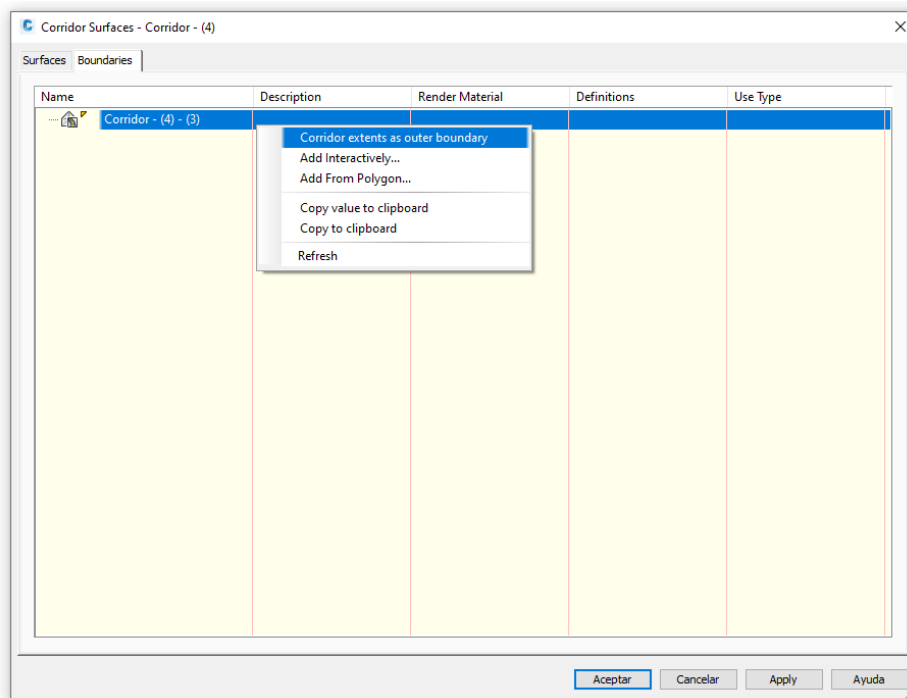
Figura 46. Creación de nueva superficie



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Posteriormente en la ventana de Boundaries se le da clic derecho sobre la información del corredor y se escoge la opción *Corridor extents as outer boundary* con el objetivo que la superficie creada tenga como borde o límite sus extremos y no se unan automáticamente entre puntos lejanos.

Figura 47. Creación de borde de la superficie



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Por último, para unir la nueva superficie creada a partir del corredor con la del levantamiento se crea una superficie nueva se dirige a *Definition*, despliega las opciones y da clic derecho en Edits la cual muestra una serie de opciones de las cual se escoge Paste Surface.

Al aparecer un cuadro con las superficies disponibles se selecciona la superficie original con la cual se llevó a cabo el primer análisis en HEC RAS y luego se vuelve a entrar en 'Paste Surface' escogiendo la superficie de la borda generada por el corredor, de esta forma automáticamente se sobrepone la superficie de la borda sobre el terreno natural medido en el levantamiento topográfico.

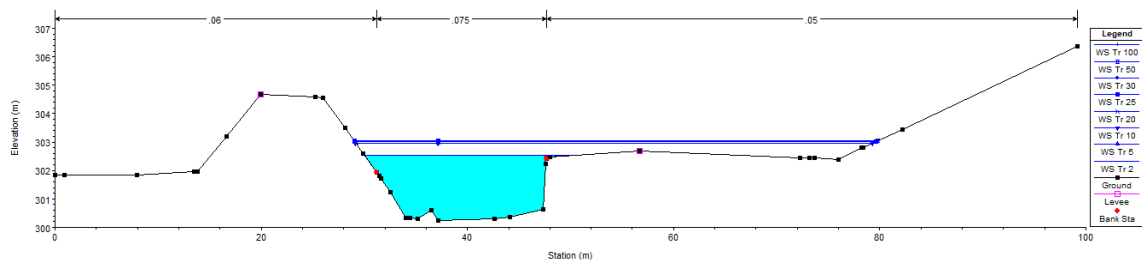
## 6.2. Simulación hidráulica en HEC RAS con las obras implementadas

A continuación, se presentan las secciones transversales y mapas de la simulación hidráulica en HEC RAS con las estructuras implementadas en río Chitá bajo los ocho periodos de retorno establecidos.

Las secciones transversales que se generan al ejecutar el plan se puede visualizar gráficamente los tirantes a cada período de retorno, permitiendo identificar las planicies de inundación del río. Es indispensable esta parte dentro del modelo debido a que a partir de estas secciones transversales se trabajan las obras transversales para evitar las inundaciones del cauce.

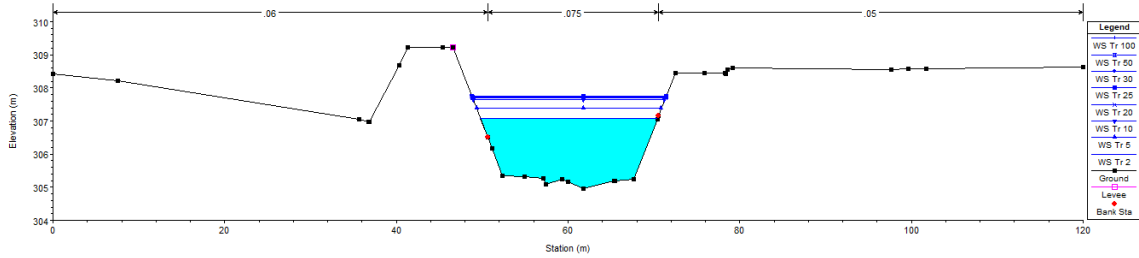
Al igual que con las tablas se procede a presentar algunas secciones transversales.

Figura 48. Sección transversal estación 0+200,00



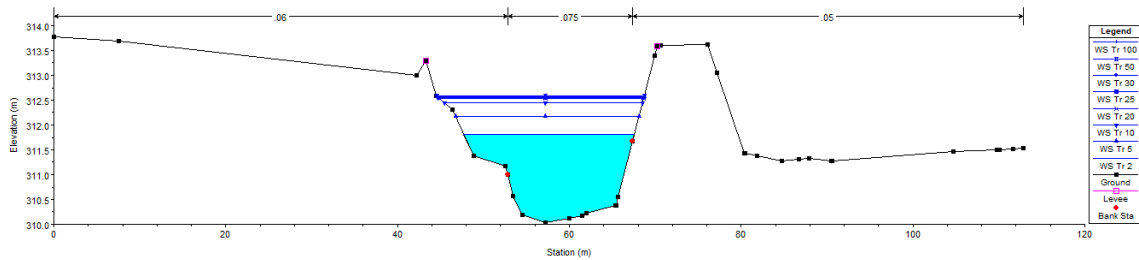
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 49. **Sección transversal estación 0+400,00**



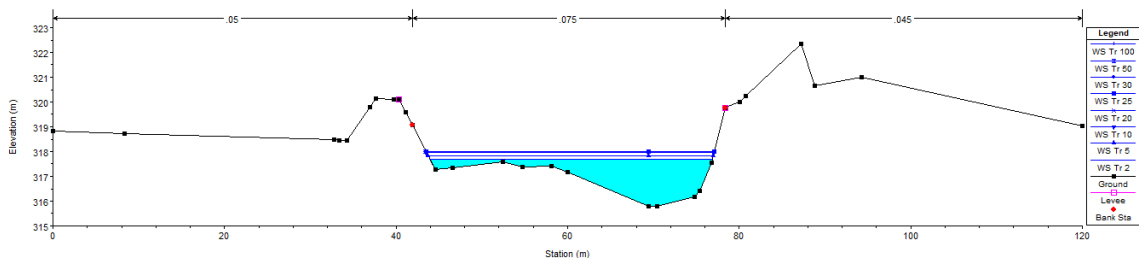
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 50. **Sección transversal estación 0+600,00**



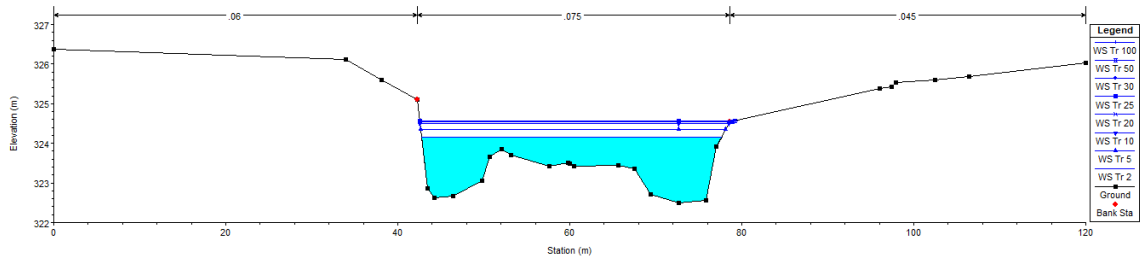
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Figura 51. **Sección transversal estación 0+800,00**



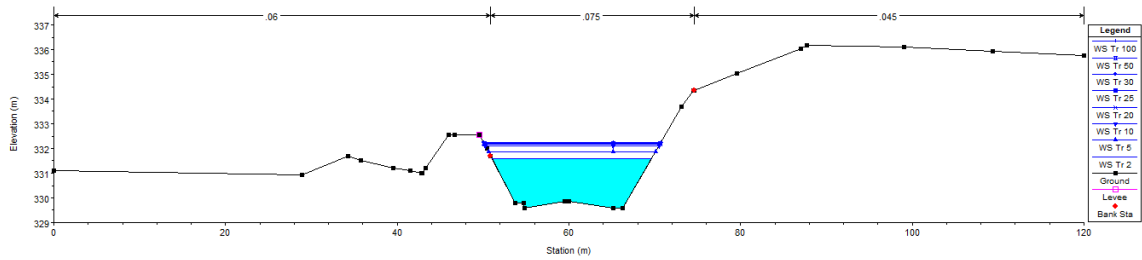
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

**Figura 52. Sección transversal estación 1+000,00**



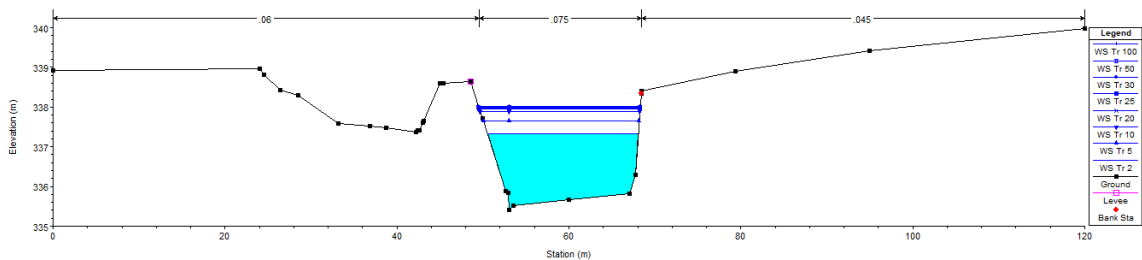
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

**Figura 53. Sección transversal estación 1+200,00**



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

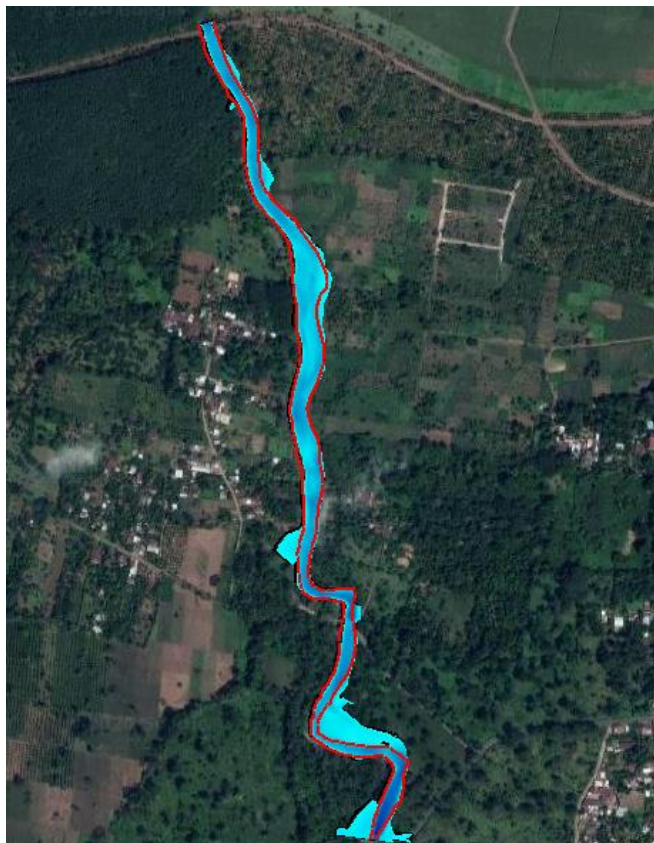
**Figura 54. Sección transversal estación 1+400,00**



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Luego de analizar las secciones transversales y el mapa de la planicie de inundación para un período de retorno de 100 años se logró observar que al implementar el TRAMO 3, el río provoca inundaciones en el margen del río entre el estacionamiento 0+620,00 y 0+700,00. Este tramo es importante prever una obra de protección en esta área debido a que en esa parte se encuentran terrenos de la comunidad que utilizan para agricultura, acuicultura y pueden ser habitados en un futuro.

Figura 55. **Planicie de inundación período de retorno de 100 años con bordas implementadas**

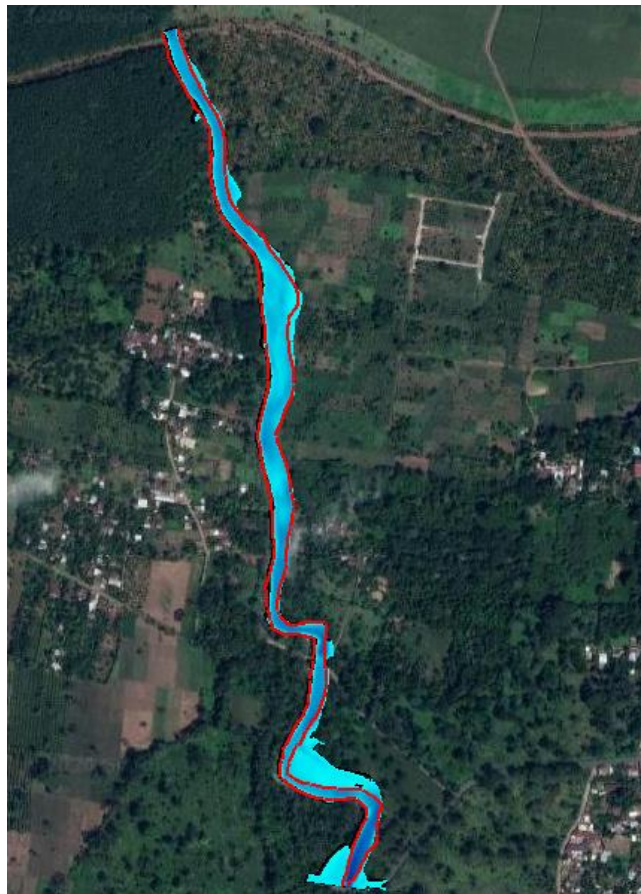


Fuente: elaboración propia, utilizando RAS MAPPER.



Para solventar este problema se propuso la implementación de una borda en el tramo señalado con las mismas características del TRAMO3, solventando el problema como se muestra en la siguiente figura.

Figura 56. **Planicie de inundación periodo de retorno de 100 años post borda paralela al TRAMO3**



Fuente: elaboración propia, utilizando RAS MAPPER.

### **6.3. Conclusiones de la simulación hidráulica en HEC RAS**

Luego de observar la última planicie de inundación generada tras la corrección del tramo 0+620,00 a 0+700,00, quedaron dos tramos aguas abajo donde se puede observar el desborde del río.

El primero es en el tramo 0+140,00 a 0+360,00, el cual no se decidió implementar obra de protección alguna debido a que esta parte durante el levantamiento topográfico se observó que es una planicie de inundación propia del cauce formada por crecidas en años anteriores en la cual se forma una especie de río intermitente que únicamente fluye agua cuando el río crece.

El segundo tramo es del estacionamiento 0+000,00 a 0+060,00 en este tramo se podría aumentar la altura de las bordas para que no desborde antes de llegar al puente, sin embargo, no tendría mayor éxito debido a que la altura del tirante siempre inunda el puente. Por lo tanto, se propone aumentar la altura del puente, así como la luz que es la razón principal que esto suceda en la simulación debido a que se va encogiéndose el ancho del canal principal del río propiciando estos tirantes tan elevados.

En los demás tramos de estudio donde se presentaban las potenciales planicies de inundación para los distintos períodos de retorno, se demostró que utilizando las distintas secciones típicas para cada tramo se eliminan las mismas y se reduce el riesgo de las personas que viven cerca del río, así como de sus posesiones materiales y cultivos.

## CONCLUSIONES

1. La población del cantón Chitá se encuentra en riesgo por la ausencia de medidas de mitigación para afrontar las inundaciones generadas por el río Chitá que tienen alta probabilidad de ocurrencia por las fuertes lluvias al ubicarse en la región climática de boca costa, que tiene los índices de precipitación más altos del país junto a la franja transversal del norte.
2. La microcuenca del río Chitá pertenece a la cuenca del río Sis-Icán de la vertiente del Pacífico, tras calcular sus morfométricas se clasifica como Oval con forma oblonga a rectangular siendo esta de respuesta rápida y en teoría, menos propensa a sufrir crecidas. Los datos de relieve arrojan datos para entender el comportamiento de la cuenca, la pendiente media es del 23,63 %, sin embargo, a pesar de tener una pendiente pronunciada en la curva hipsométrica se observa que en la parte baja de la cuenca está la mayor acumulación de área por lo tanto estas zonas se pueden ver afectadas por eventuales planicies de inundación.
3. Luego de calcular los caudales máximos por el análisis regional de crecidas y el método racional se determinó que este último es el más adecuado para analizar el tramo de estudio del río Chitá. El análisis regional de crecidas es más adecuado de utilizar para cuencas más grandes, por eso se presentan caudales tan grandes a pesar de ser una cuenca considerablemente pequeña.
4. El levantamiento topográfico del tramo de interés del río Chitá se inició en el puente de la antigua línea férrea hasta el puente Chitá que se encuentra

1 500 metros aguas abajo aproximadamente. Tomando secciones transversales cada 20 metros en los tramos rectos, en los meandros se realizaron a menor distancia para representar el río de una forma más adecuada.

5. La simulación hidráulica con distintos periodos de retorno en el software HEC-RAS permitió conocer las zonas propensas a inundaciones, así como las características hidráulicas como la velocidad y el tirante máximo necesarias para el diseño de la obra de protección. Se establecieron cinco tramos a proteger; en el margen derecho se estableció el tramo 1 y 3 sobre los estacionamientos 0+000,00 a 0+080,00 y 0+400,00 a 0+790,00 mientras que en el izquierdo se fijaron los tramos 2, 4 y 5 en los estacionamientos 0+000,00 a 0+580,00, 0+775,00 a 0+9700,00 y 1+065,00 a 1+445,00 respectivamente.
  
6. El enrocado de protección o Riprap Revetment es la obra de protección que se presenta para brindar protección contra inundaciones y los daños en los márgenes del río. Para cada tramo de estudio se diseñó una sección típica en función de las características hidráulicas de las secciones transversales. Luego de simular el modelo con las obras de protección incorporadas surgió una nueva planicie inundación como efecto de las obras incorporadas en el tramo 3, propiciando el aumento del tirante del río inundando el margen izquierdo. Por lo tanto, se planteó implementar en este margen entre el estacionamiento 0+620,00 a 0+700,00 una sección típica como la del tramo 3 como solución para esa planicie de inundación emergente. El único tramo del río que queda propenso a inundaciones es del estacionamiento 0+000,00 a 0+060,00 de ambos lados del río, en el cual es necesario aumentar la luz y altura del puente como mínimo 15 y 2,50 metros respectivamente. Siendo este el motivo de

la reducción de la sección transversal del río propiciando tirantes más altos que pueden conllevar a inundaciones en esa zona.



## RECOMENDACIONES

1. Conseguir que la municipalidad de Mazatenango realice un plan de ordenamiento territorial para evitar asentamientos humanos en áreas propensas a inundación.
2. Realizar como medida temporal el dragado del río para mejorar la capacidad hidráulica del cauce, haciendo énfasis en que el material excavado del fondo del río debe ser transportado a algún sitio lejano al río para evitar que el mismo sea arrastrado de nuevo.
3. Evaluar la opción de protección con gaviones.
4. Realizar las gestiones pertinentes para obtener el financiamiento necesario para llevar a cabo la implementación de las obras de protección en el río Chitá.
5. Conseguir que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala exhorte este tipo de estudio para facilitar a las municipalidades las áreas propensas a inundaciones para evitar cualquier actividad humana en dichas zonas de amenaza.
6. Realizar monitoreo y mantenimiento de las obras de protección para extender la vida útil de las mismas, especialmente durante la temporada de lluvias de mayo a octubre.





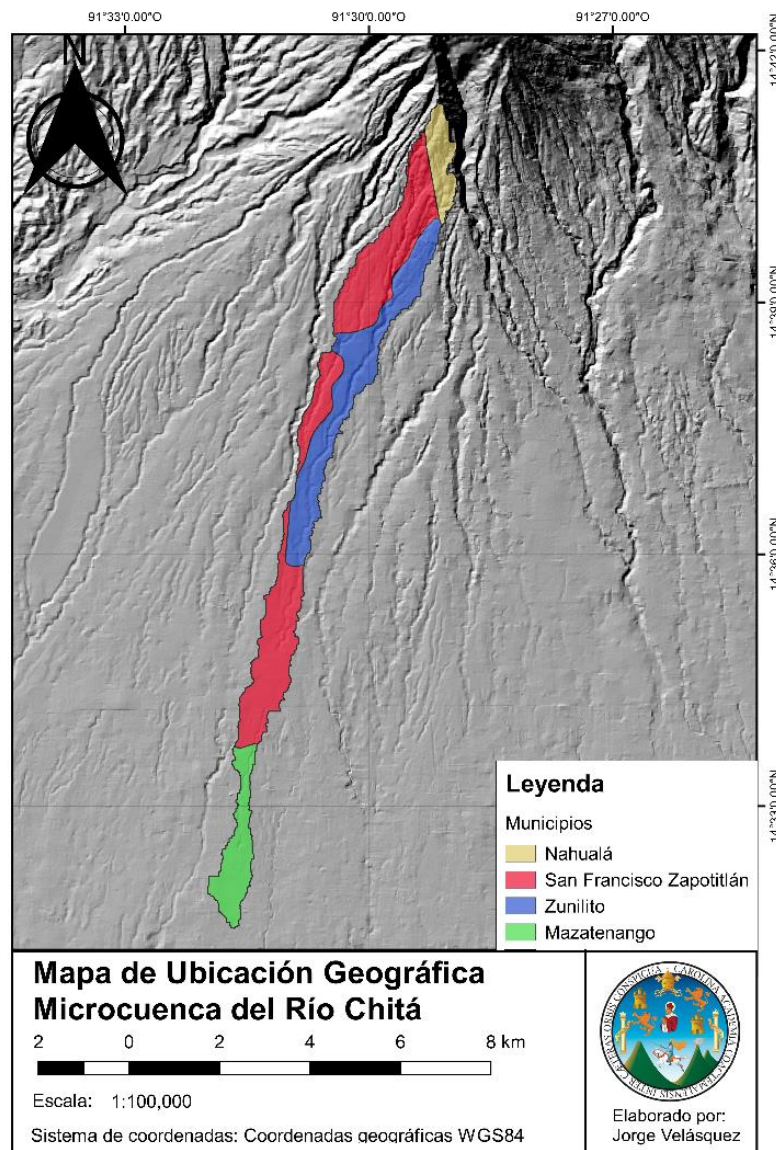
## BIBLIOGRAFÍA

1. APARICIO MIJARES, Francisco Javier. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa, 1989. 302 p.
2. ARCEMENT, George; SCHNEIDER, Verne. *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. Estados Unidos: United States Geological Survey Water-Supply, 1989. 44 p.
3. BARNES, Harry. *Roughness Characteristics of Natural Channels*. Estados Unidos: United States Geological Survey Water-Supply, 1967. 219 p.
4. BUITRAGO BUITRAGO, Catherine y OCHOA PARRA, Diana Marcel. *Recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces*. Tesis de Especialización en Recursos Hídricos. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2013. 60 p.
5. CARRILLO MUÑOZ, Victoria Yasmina Raquel. *Propuesta de obras de protección para inundaciones provocadas por el río Guacalate en Masagua, Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 94 p.
6. Florida Department of Transportation. *FDOT Civil 3D Subassembly Composer Course Guide*. Estados Unidos: Florida Department of Transportation, 2018. 63 p.

7. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Análisis regional de crecidas en la república de Guatemala*. Guatemala: Insivumeh, 2018. 3 p.
8. LÓPEZ SANDOVAL, Maryl Azucel. *Estudio hidrológico para el diseño de obra de protección contra inundaciones del río Xulá, cantón Santa Teresa, municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 92 p.
9. MARTÍN VIDE, Juan Pedro. *Ingeniería de ríos*. Edición impresa en México: ALFAOMEGA, 2003. 329p. ISBN: 970150819X.
10. SUÁREZ DÍAZ, Jaime. *Control de Erosión en zonas tropicales*. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2001. 555p. ISBN: 9583327344.
11. US Army Corps of Engineers. *Design of rip rap revetment*. Estados Unidos: Hydrologic Engineering Center, 1989. 169 p.
12. \_\_\_\_\_. *HEC-RAS River Analysis System*. Estados Unidos: Hydrologic Engineering Center, 2016. 952 p.
13. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. Costa Rica: MaxSoft, 2002. 430 p.

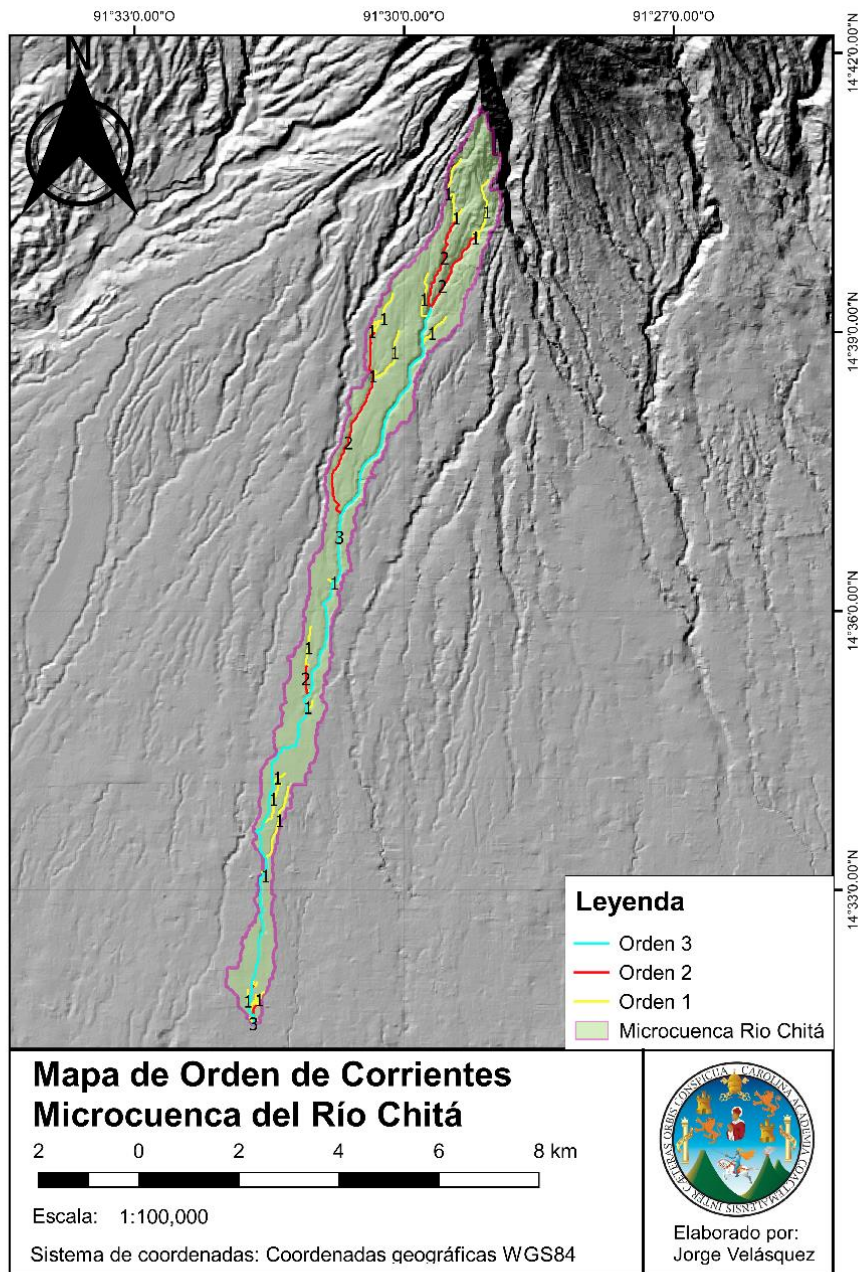
# APÉNDICES

Apéndice 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Chitá



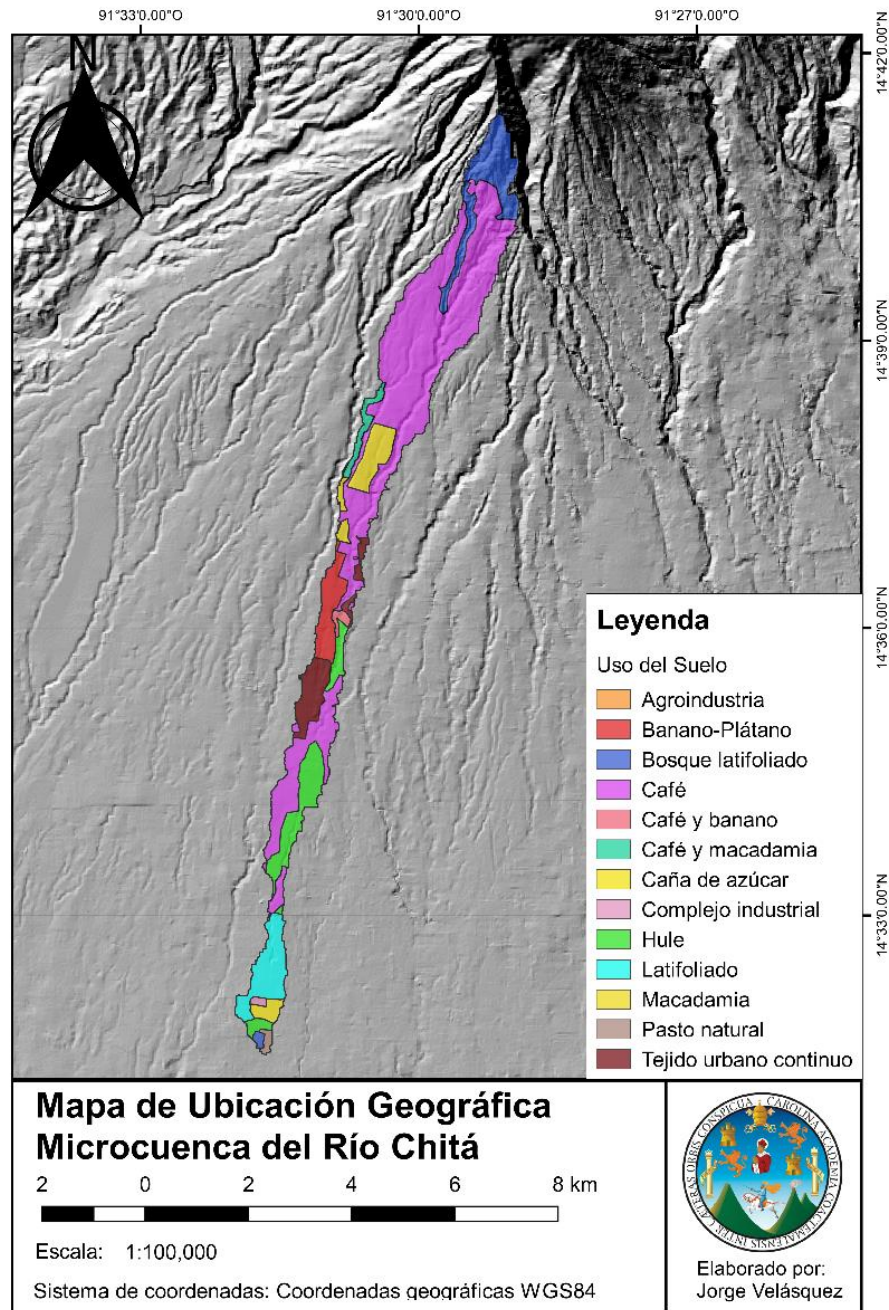
Fuente: elaboración propia, utilizando Qgis with Grass.

Apéndice 2. **Mapa de orden de corrientes microcuenca del río Chitá**



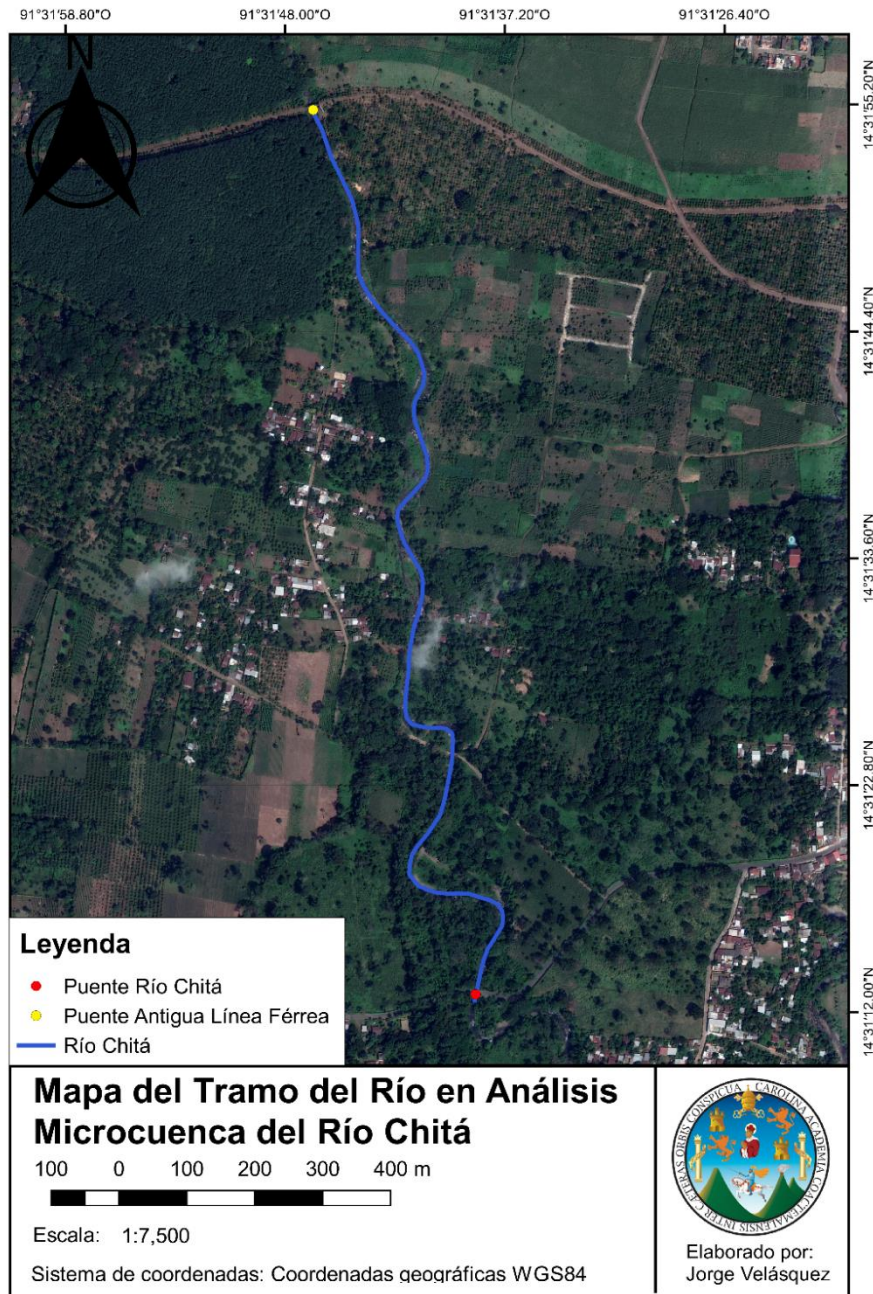
Fuente: elaboración propia, utilizando Qgis with Grass.

Apéndice 3. Mapa de uso del suelo microcuenca del río Chitá



Fuente: elaboración propia, utilizando Qgis with Grass.

Apéndice 4. **Mapa del tramo del río en análisis microcuenca del río Chitá**



Fuente: elaboración propia, utilizando Qgis with Grass.

Apéndice 5. **Levantamiento topográfico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Levantamiento topográfico**



Fuente: elaboración propia.



Apéndice 7. **Levantamiento topográfico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Levantamiento topográfico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Levantamiento topográfico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Levantamiento topográfico**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 11. Levantamiento topográfico



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 12. Características hidráulicas estación 0+000,00

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+000,00	5	103,27	1,95	57,26	300,32	294,42	65,47	0,27
0+000,00	10	125,53	1,99	78,93	300,6	294,42	80,73	0,28
0+000,00	20	131,59	2	83,26	300,66	294,42	81,86	0,28
0+000,00	25	132,87	2,01	84,17	300,67	294,42	82,36	0,28
0+000,00	30	134,46	2,01	85,28	300,68	294,42	82,96	0,28
0+000,00	50	135,72	2,01	86,16	300,69	294,42	83,43	0,28
0+000,00	100	136,58	2,01	86,75	300,7	294,42	83,75	0,28

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Características hidráulicas estación 0+000,43**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+000,43	2	77,11	1,85	41,64	299,39	294,47	9,11	0,28
0+000,43	5	103,27	2,01	54,99	300,32	294,47	58,3	0,28
0+000,43	10	125,53	2,04	76,65	300,6	294,47	80,56	0,29
0+000,43	20	131,59	2,06	81,03	300,65	294,47	81,28	0,29
0+000,43	25	132,87	2,06	81,94	300,67	294,47	81,43	0,29
0+000,43	30	134,46	2,06	83,05	300,68	294,47	81,61	0,29
0+000,43	50	135,72	2,06	83,92	300,69	294,47	81,75	0,29
0+000,43	100	136,58	2,06	84,51	300,7	294,47	81,85	0,29

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Características hidráulicas estación 0+007,69**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+7,69	2	77,11	2,26	34,06	299,64	295,19	9,17	0,38
0+7,69	5	103,27	1,8	77,71	300,71	295,19	103,56	0,27
0+7,69	10	125,53	1,76	102,31	300,92	295,19	120	0,26
0+7,69	20	131,59	1,84	102,5	300,92	295,19	120	0,27
0+7,69	25	132,87	1,85	102,96	300,93	295,19	120	0,27
0+7,69	30	134,46	1,86	103,62	300,93	295,19	120	0,27
0+7,69	50	135,72	1,87	104,2	300,94	295,19	120	0,27
0+7,69	100	136,58	1,87	104,62	300,94	295,19	120	0,27

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Características hidráulicas estación 0+020,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+020,00	2	77,11	1,36	61,01	299,91	296,17	33,72	0,25
0+020,00	5	103,27	1,16	103,52	300,82	296,17	60,25	0,19
0+020,00	10	125,53	1,29	114,8	301	296,17	65,53	0,2
0+020,00	20	131,59	1,34	115,43	301,01	296,17	65,81	0,21
0+020,00	25	132,87	1,35	115,71	301,02	296,17	65,94	0,21
0+020,00	30	134,46	1,36	116,08	301,02	296,17	66,1	0,22
0+020,00	50	135,72	1,37	116,39	301,03	296,17	66,24	0,22
0+020,00	100	136,58	1,38	116,61	301,03	296,17	66,34	0,22

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Características hidráulicas estación 0+040,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+040,00	2	77,11	1,28	62,75	299,97	296,47	27,59	0,25
0+040,00	5	103,27	1,25	91,61	300,85	296,47	42,36	0,21
0+040,00	10	125,53	1,42	99,66	301,03	296,47	46,94	0,23
0+040,00	20	131,59	1,48	100,21	301,04	296,47	47,24	0,24
0+040,00	25	132,87	1,49	100,43	301,05	296,47	47,36	0,25
0+040,00	30	134,46	1,51	100,71	301,05	296,47	47,51	0,25
0+040,00	50	135,72	1,52	100,95	301,06	296,47	47,63	0,25
0+040,00	100	136,58	1,53	101,12	301,06	296,47	47,72	0,25

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Características hidráulicas estación 0+060,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+060,00	2	77,11	1,42	56,28	300,02	297	27,51	0,29
0+060,00	5	103,27	1,33	82,04	300,88	297	32,32	0,24
0+060,00	10	125,53	1,52	88,25	301,07	297	35,38	0,26
0+060,00	20	131,59	1,59	88,78	301,08	297	35,71	0,27
0+060,00	25	132,87	1,6	88,96	301,09	297	35,82	0,28
0+060,00	30	134,46	1,62	89,2	301,09	297	35,97	0,28
0+060,00	50	135,72	1,63	89,4	301,1	297	36,1	0,28
0+060,00	100	136,58	1,64	89,53	301,1	297	36,18	0,28

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Características hidráulicas estación 0+080,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+080,00	2	77,11	1,61	50,24	300,09	297,54	29,69	0,35
0+080,00	5	103,27	1,42	77,42	300,93	297,54	35,57	0,27
0+080,00	10	125,53	1,59	84,61	301,12	297,54	37,64	0,29
0+080,00	20	131,59	1,66	85,36	301,14	297,54	38,49	0,3
0+080,00	25	132,87	1,68	85,6	301,15	297,54	38,75	0,31
0+080,00	30	134,46	1,69	85,9	301,16	297,54	39,08	0,31
0+080,00	50	135,72	1,71	86,15	301,16	297,54	39,36	0,31
0+080,00	100	136,58	1,72	86,32	301,17	297,54	39,55	0,31

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 19. **Características hidráulicas estación 0+100,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+100,00	2	77,11	1,98	41,52	300,19	297,53	31,51	0,44
0+100,00	5	103,27	1,66	68,34	300,98	297,53	36,46	0,31
0+100,00	10	125,53	1,85	76,3	301,19	297,53	42,35	0,34
0+100,00	20	131,59	1,92	77,38	301,21	297,53	43,38	0,35
0+100,00	25	132,87	1,94	77,71	301,22	297,53	43,56	0,35
0+100,00	30	134,46	1,95	78,11	301,23	297,53	43,56	0,35
0+100,00	50	135,72	1,96	78,45	301,24	297,53	43,56	0,35
0+100,00	100	136,58	1,96	78,68	301,24	297,53	43,56	0,35

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Características hidráulicas estación 0+114,68**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+114,68	2	77,11	1,84	45,3	300,34	297,28	35,78	0,39
0+114,68	5	103,27	1,6	72,32	301,05	297,28	40,79	0,3
0+114,68	10	125,53	1,75	82,33	301,27	297,28	46,92	0,31
0+114,68	20	131,59	1,8	83,92	301,31	297,28	46,93	0,32
0+114,68	25	132,87	1,81	84,34	301,32	297,28	46,93	0,32
0+114,68	30	134,46	1,82	84,83	301,33	297,28	46,93	0,32
0+114,68	50	135,72	1,83	85,23	301,34	297,28	46,94	0,32
0+114,68	100	136,58	1,83	85,5	301,34	297,28	46,94	0,33

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Características hidráulicas estación 0+122,73**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+122,73	2	77,11	1,79	47,06	300,41	297,24	38,98	0,38
0+122,73	5	103,27	1,6	74,92	301,08	297,24	45,19	0,3
0+122,73	10	125,53	1,73	86,16	301,31	297,24	50,28	0,31
0+122,73	20	131,59	1,78	87,97	301,35	297,24	50,28	0,32
0+122,73	25	132,87	1,78	88,42	301,36	297,24	50,28	0,32
0+122,73	30	134,46	1,79	88,97	301,37	297,24	50,28	0,32
0+122,73	50	135,72	1,8	89,41	301,38	297,24	50,28	0,32
0+122,73	100	136,58	1,81	89,72	301,38	297,24	50,28	0,32

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Características hidráulicas estación 0+131,53**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+131,51	2	77,11	1,76	46,38	300,47	297,9	42,6	0,42
0+131,51	5	103,27	1,52	75,82	301,13	297,9	51,03	0,31
0+131,51	10	125,53	1,6	88,71	301,36	297,9	54,8	0,31
0+131,51	20	131,59	1,64	90,82	301,4	297,9	54,8	0,32
0+131,51	25	132,87	1,64	91,35	301,41	297,9	54,8	0,32
0+131,51	30	134,46	1,65	91,97	301,42	297,9	54,8	0,32
0+131,51	50	135,72	1,66	92,47	301,43	297,9	54,8	0,32
0+131,51	100	136,58	1,66	92,82	301,44	297,9	54,8	0,32

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 23. Características hidráulicas estación 0+140,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+140,00	2	77,11	2,16	38,18	300,53	298,67	41,21	0,56
0+140,00	5	103,27	1,69	68,75	301,15	298,67	56,34	0,37
0+140,00	10	125,53	1,71	83,03	301,39	298,67	60,32	0,35
0+140,00	20	131,59	1,74	85,43	301,43	298,67	60,35	0,36
0+140,00	25	132,87	1,74	86,01	301,44	298,67	60,35	0,36
0+140,00	30	134,46	1,75	86,71	301,45	298,67	60,36	0,36
0+140,00	50	135,72	1,75	87,27	301,46	298,67	60,37	0,36
0+140,00	100	136,58	1,76	87,66	301,47	298,67	60,37	0,36

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 24. Características hidráulicas estación 0+160,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+160,00	2	77,11	2,93	29,11	301,05	299,23	40,77	0,78
0+160,00	5	103,27	3,51	34,56	301,15	299,23	56,31	0,91
0+160,00	10	125,53	4,42	33,11	301,12	299,23	54,18	1,16
0+160,00	20	131,59	4,44	34,85	301,15	299,23	56,72	1,15
0+160,00	25	132,87	4,17	37,93	301,2	299,23	60,98	1,06
0+160,00	30	134,46	4,16	38,58	301,22	299,23	61,83	1,06
0+160,00	50	135,72	4,16	39,04	301,22	299,23	62,43	1,05
0+160,00	100	136,58	4,15	39,42	301,23	299,23	62,92	1,05

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 25. Características hidráulicas estación 0+180,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+180,00	2	77,11	3,56	21,65	301,63	299,76	13,24	0,89
0+180,00	5	103,27	4,17	24,82	301,86	299,76	14,63	0,98
0+180,00	10	125,53	3,8	37,37	302,29	299,76	44,57	0,81
0+180,00	20	131,59	3,98	37,37	302,29	299,76	44,57	0,85
0+180,00	25	132,87	2,97	55,18	302,29	299,76	64,88	0,63
0+180,00	30	134,46	3	55,18	302,29	299,76	64,88	0,64
0+180,00	50	135,72	3,03	55,18	302,29	299,76	64,88	0,65
0+180,00	100	136,58	3,05	55,18	302,29	299,76	64,88	0,65

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 26. Características hidráulicas estación 0+200,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+200,00	2	77,11	2,47	31,22	302,52	300,26	18,21	0,57
0+200,00	5	103,27	2,24	52,56	303	300,26	48,3	0,46
0+200,00	10	125,53	2,41	59,12	303,13	300,26	49,82	0,49
0+200,00	20	131,59	2,36	63,28	303,22	300,26	52,34	0,47
0+200,00	25	132,87	4,3	30,94	302,5	300,26	17,57	0,99
0+200,00	30	134,46	4,29	31,39	302,53	300,26	18,58	0,98
0+200,00	50	135,72	4,27	31,92	302,56	300,26	19,68	0,97
0+200,00	100	136,58	4,24	32,41	302,58	300,26	20,66	0,96

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 27. Características hidráulicas estación 0+220,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+220,00	2	77,11	3	25,88	302,9	301,05	20,98	0,82
0+220,00	5	103,27	2,08	65,68	303,3	301,05	104,05	0,5
0+220,00	10	125,53	1,91	84,33	303,48	301,05	105,1	0,44
0+220,00	20	131,59	1,85	90,27	303,54	301,05	105,43	0,42
0+220,00	25	132,87	1,53	106,66	303,69	301,05	106,34	0,33
0+220,00	30	134,46	1,52	108,51	303,71	301,05	106,44	0,33
0+220,00	50	135,72	1,51	109,85	303,72	301,05	106,51	0,33
0+220,00	100	136,58	1,51	110,72	303,73	301,05	106,56	0,33

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 28. Características hidráulicas estación 0+240,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+240,00	2	77,11	2,58	35,62	303,81	301,93	57,68	0,69
0+240,00	5	103,27	2,8	43,24	303,94	301,93	58,93	0,71
0+240,00	10	125,53	2,96	48,94	304,03	301,93	60,73	0,73
0+240,00	20	131,59	3,01	50,34	304,06	301,93	61,17	0,74
0+240,00	25	132,87	2,95	51,67	304,08	301,93	61,58	0,72
0+240,00	30	134,46	2,98	51,63	304,08	301,93	61,56	0,73
0+240,00	50	135,72	3,02	51,59	304,08	301,93	61,55	0,74
0+240,00	100	136,58	3,05	51,38	304,07	301,93	61,49	0,75

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Características hidráulicas estación 0+248,85**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+248,85	2	77,11	2,65	35,17	304,03	302,32	59,2	0,72
0+248,85	5	103,27	2,64	45,2	304,2	302,32	60,44	0,68
0+248,85	10	125,53	2,7	51,93	304,31	302,32	61,26	0,68
0+248,85	20	131,59	2,72	53,7	304,34	302,32	61,48	0,68
0+248,85	25	132,87	2,99	50,15	304,28	302,32	61,05	0,76
0+248,85	30	134,46	2,99	50,53	304,29	302,32	61,09	0,76
0+248,85	50	135,72	3	50,8	304,29	302,32	61,13	0,76
0+248,85	100	136,58	3,02	50,75	304,29	302,32	61,12	0,76

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Características hidráulicas estación 0+265,14**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+265,14	2	77,11	2,57	35,9	304,5	302,67	60,7	0,7
0+265,14	5	103,27	2,78	42,67	304,61	302,67	61,64	0,73
0+265,14	10	125,53	2,88	48,35	304,7	302,67	62,43	0,74
0+265,14	20	131,59	2,9	49,88	304,73	302,67	62,64	0,74
0+265,14	25	132,87	2,75	52,44	304,77	302,67	62,98	0,7
0+265,14	30	134,46	2,75	52,85	304,78	302,67	63,04	0,7
0+265,14	50	135,72	2,75	53,21	304,78	302,67	63,09	0,7
0+265,14	100	136,58	2,74	53,68	304,79	302,67	63,15	0,69

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Características hidráulicas estación 0+281,63**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+281,63	2	77,11	2,06	45,16	304,9	302,67	65,07	0,51
0+281,63	5	103,27	2,18	54,88	305,05	302,67	66,24	0,52
0+281,63	10	125,53	2,27	62,12	305,16	302,67	67,11	0,53
0+281,63	20	131,59	2,3	63,99	305,19	302,67	67,33	0,53
0+281,63	25	132,87	2,35	63,29	305,18	302,67	67,24	0,54
0+281,63	30	134,46	2,36	63,77	305,18	302,67	67,3	0,54
0+281,63	50	135,72	2,36	64,14	305,19	302,67	67,34	0,54
0+281,63	100	136,58	2,37	64,3	305,19	302,67	67,36	0,54

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. **Características hidráulicas estación 0+303,13**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+303,13	2	77,11	2,62	35,18	305,23	303,09	56,34	0,72
0+303,13	5	103,27	2,79	42,87	305,36	303,09	58,23	0,73
0+303,13	10	125,53	2,92	48,84	305,46	303,09	60,35	0,74
0+303,13	20	131,59	2,95	50,4	305,49	303,09	60,89	0,74
0+303,13	25	132,87	2,95	50,85	305,49	303,09	61,05	0,74
0+303,13	30	134,46	2,95	51,25	305,5	303,09	61,18	0,74
0+303,13	50	135,72	2,96	51,57	305,51	303,09	61,29	0,74
0+303,13	100	136,58	2,96	51,79	305,51	303,09	61,37	0,74

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 33. Características hidráulicas estación 0+324,33**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+324,33	2	77,11	1,86	43,57	305,71	303,81	51,5	0,51
0+324,33	5	103,27	2,09	51,12	305,85	303,81	55,35	0,55
0+324,33	10	125,53	2,26	57,17	305,96	303,81	58,26	0,57
0+324,33	20	131,59	2,3	58,77	305,99	303,81	59	0,57
0+324,33	25	132,87	2,31	59,04	305,99	303,81	59,12	0,58
0+324,33	30	134,46	2,32	59,46	306	303,81	59,32	0,58
0+324,33	50	135,72	2,33	59,79	306,01	303,81	59,47	0,58
0+324,33	100	136,58	2,33	60	306,01	303,81	59,57	0,58

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 34. Características hidráulicas estación 0+340,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+340,00	2	77,11	2,85	29,68	305,86	304,41	34,77	0,79
0+340,00	5	103,27	2,69	44,84	306,06	304,41	54,51	0,69
0+340,00	10	125,53	2,81	51,78	306,19	304,41	56,9	0,7
0+340,00	20	131,59	2,84	53,6	306,22	304,41	57,51	0,7
0+340,00	25	132,87	2,85	53,96	306,23	304,41	57,63	0,7
0+340,00	30	134,46	2,86	54,43	306,24	304,41	57,79	0,7
0+340,00	50	135,72	2,87	54,81	306,24	304,41	57,91	0,7
0+340,00	100	136,58	2,87	55,06	306,25	304,41	58	0,7

Fuente: elaboración propia.



**Apéndice 35. Características hidráulicas estación 0+360,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+360,00	2	77,11	2,25	36,64	306,4	303,97	30,25	0,53
0+360,00	5	103,27	2,94	37,71	306,44	303,97	31,41	0,68
0+360,00	10	125,53	3,33	41,08	306,54	303,97	34,81	0,76
0+360,00	20	131,59	3,44	41,93	306,56	303,97	35,62	0,77
0+360,00	25	132,87	3,46	42,11	306,57	303,97	35,78	0,78
0+360,00	30	134,46	3,48	42,32	306,58	303,97	35,98	0,78
0+360,00	50	135,72	3,51	42,49	306,58	303,97	36,14	0,79
0+360,00	100	136,58	3,52	42,61	306,58	303,97	36,25	0,79

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 36. Características hidráulicas estación 0+380,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+380,00	2	77,11	2,2	38,14	306,68	304,26	31,66	0,51
0+380,00	5	103,27	2,46	47,06	306,94	304,26	37,51	0,54
0+380,00	10	125,53	2,55	56,33	307,17	304,26	42,2	0,53
0+380,00	20	131,59	2,56	58,93	307,24	304,26	43,87	0,53
0+380,00	25	132,87	2,57	59,47	307,25	304,26	44,25	0,53
0+380,00	30	134,46	2,57	60,16	307,26	304,26	44,72	0,53
0+380,00	50	135,72	2,57	60,71	307,28	304,26	45,1	0,53
0+380,00	100	136,58	2,58	61,09	307,28	304,26	45,36	0,52

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 37. **Características hidráulicas estación 0+400,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+400,00	2	77,11	2,31	35,72	306,95	304,95	32,03	0,57
0+400,00	5	103,27	2,52	45,42	307,22	304,95	38,72	0,58
0+400,00	10	125,53	2,62	54,29	307,44	304,95	43,96	0,57
0+400,00	20	131,59	2,64	56,76	307,49	304,95	45,31	0,57
0+400,00	25	132,87	2,64	57,27	307,5	304,95	45,58	0,57
0+400,00	30	134,46	2,65	57,91	307,52	304,95	45,93	0,57
0+400,00	50	135,72	2,65	58,42	307,53	304,95	46,2	0,57
0+400,00	100	136,58	2,65	58,76	307,54	304,95	46,38	0,57

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 38. **Características hidráulicas estación 0+420,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+420,00	2	77,11	2,41	32,25	307,29	305,58	24,12	0,63
0+420,00	5	103,27	2,72	39,06	307,54	305,58	30,19	0,66
0+420,00	10	125,53	2,94	45,03	307,72	305,58	35,23	0,69
0+420,00	20	131,59	2,99	46,67	307,77	305,58	36,49	0,69
0+420,00	25	132,87	3	47,02	307,78	305,58	36,75	0,69
0+420,00	30	134,46	3,02	47,45	307,79	305,58	37,08	0,69
0+420,00	50	135,72	3,03	47,79	307,8	305,58	37,33	0,69
0+420,00	100	136,58	3,03	48,02	307,81	305,58	37,5	0,69

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 39. **Características hidráulicas estación 0+440,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+440,00	2	77,11	2,46	31,31	307,72	306,09	23,4	0,68
0+440,00	5	103,27	2,73	37,91	308	306,09	25,09	0,7
0+440,00	10	125,53	2,95	42,82	308,19	306,09	26,44	0,72
0+440,00	20	131,59	3,01	44,06	308,23	306,09	26,77	0,72
0+440,00	25	132,87	3,02	44,32	308,24	306,09	26,84	0,72
0+440,00	30	134,46	3,03	44,64	308,26	306,09	26,92	0,73
0+440,00	50	135,72	3,05	44,89	308,26	306,09	26,99	0,73
0+440,00	100	136,58	3,06	45,05	308,27	306,09	27,03	0,73

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 40. **Características hidráulicas estación 0+460,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+460,00	2	77,11	2,08	38,19	308,17	306,26	28,24	0,52
0+460,00	5	103,27	2,29	47,02	308,47	306,26	30,95	0,53
0+460,00	10	125,53	2,44	54,21	308,7	306,26	32,99	0,53
0+460,00	20	131,59	2,47	56,13	308,75	306,26	33,4	0,53
0+460,00	25	132,87	2,48	56,53	308,77	306,26	33,49	0,53
0+460,00	30	134,46	2,49	57,03	308,78	306,26	33,6	0,53
0+460,00	50	135,72	2,49	57,42	308,79	306,26	33,68	0,53
0+460,00	100	136,58	2,5	57,69	308,8	306,26	33,74	0,53

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 41. Características hidráulicas estación 0+476,42**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+476,42	2	77,11	3,57	21,59	308,23	306,12	11,87	0,85
0+476,42	5	103,27	4,41	23,4	308,38	306,12	11,92	1,01
0+476,42	10	125,53	4,7	26,72	308,66	306,12	12,01	1,01
0+476,42	20	131,59	4,77	27,59	308,73	306,12	12,04	1,01
0+476,42	25	132,87	4,78	27,78	308,74	306,12	12,04	1,01
0+476,42	30	134,46	4,8	28,01	308,76	306,12	12,05	1,01
0+476,42	50	135,72	4,82	28,19	308,78	306,12	12,06	1,01
0+476,42	100	136,58	4,82	28,31	308,79	306,12	12,06	1,01

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 42. Características hidráulicas estación 0+477,51**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+477,51	2	77,11	3,63	21,25	308,26	306,14	11,88	0,87
0+477,51	5	103,27	4,14	24,95	308,57	306,14	12,05	0,92
0+477,51	10	125,53	4,36	28,8	308,89	306,14	12,23	0,91
0+477,51	20	131,59	4,41	29,85	308,97	306,14	12,28	0,9
0+477,51	25	132,87	4,42	30,06	308,99	306,14	12,29	0,9
0+477,51	30	134,46	4,43	30,32	309,01	306,14	12,3	0,9
0+477,51	50	135,72	4,4	30,87	309,05	306,14	12,33	0,89
0+477,51	100	136,58	4,4	31,01	309,06	306,14	12,33	0,89

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 43. **Características hidráulicas estación 0+481,96**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+481,96	2	77,11	3,52	21,91	308,49	306,23	11,54	0,82
0+481,96	5	103,27	3,93	26,27	308,87	306,23	11,7	0,84
0+481,96	10	125,53	3,8	33,01	309,44	306,23	11,95	0,73
0+481,96	20	131,59	3,77	34,92	309,6	306,23	12,02	0,71
0+481,96	25	132,87	3,76	35,34	309,63	306,23	12,03	0,7
0+481,96	30	134,46	3,75	35,84	309,68	306,23	12,05	0,69
0+481,96	50	135,72	3,73	36,4	309,72	306,23	12,06	0,69
0+481,96	100	136,58	3,72	36,67	309,74	306,23	12,07	0,68

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 44. **Características hidráulicas estación 0+483,38**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+483,38	2	77,11	3,3	23,33	308,63	306,26	11,92	0,75
0+483,38	5	103,27	3,64	28,36	309,05	306,26	12,24	0,76
0+483,38	10	125,53	3,61	34,79	309,56	306,26	12,64	0,69
0+483,38	20	131,59	3,58	36,72	309,72	306,26	12,76	0,67
0+483,38	25	132,87	3,58	37,14	309,75	306,26	12,79	0,67
0+483,38	30	134,46	3,57	37,66	309,79	306,26	12,82	0,67
0+483,38	50	135,72	3,55	38,22	309,83	306,26	12,85	0,66
0+483,38	100	136,58	3,55	38,5	309,85	306,26	12,87	0,66

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 45. **Características hidráulicas estación 0+501,16**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+501,16	2	77,11	1,88	40,94	309,3	306,08	20,81	0,4
0+501,16	5	103,27	1,97	52,65	309,8	306,08	26,94	0,38
0+501,16	10	125,53	1,96	65,98	310,26	306,08	30,72	0,35
0+501,16	20	131,59	1,94	70,18	310,4	306,08	31,86	0,34
0+501,16	25	132,87	1,94	71,11	310,43	306,08	32,11	0,34
0+501,16	30	134,46	1,93	72,27	310,46	306,08	32,42	0,34
0+501,16	50	135,72	1,92	73,38	310,5	306,08	32,71	0,33
0+501,16	100	136,58	1,92	74,02	310,52	306,08	32,88	0,33

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 46. **Características hidráulicas estación 0+516,64**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+516,64	2	77,11	2,08	36,99	309,47	307,31	29,95	0,6
0+516,64	5	103,27	2	52,3	309,95	307,31	33,71	0,49
0+516,64	10	125,53	1,84	72,28	310,4	307,31	46,51	0,4
0+516,64	20	131,59	1,79	78,46	310,53	307,31	47,96	0,38
0+516,64	25	132,87	1,78	79,81	310,56	307,31	48,61	0,37
0+516,64	30	134,46	1,77	81,52	310,59	307,31	49,42	0,37
0+516,64	50	135,72	1,75	83,13	310,63	307,31	50,18	0,36
0+516,64	100	136,58	1,75	84,09	310,65	307,31	50,63	0,36

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 47. Características hidráulicas estación 0+540,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+540,00	2	77,11	2,94	26,64	309,88	307,27	25,07	0,78
0+540,00	5	103,27	3,18	34,55	310,15	307,27	33,84	0,78
0+540,00	10	125,53	2,91	48,68	310,5	307,27	46,12	0,65
0+540,00	20	131,59	2,77	54,41	310,62	307,27	49,48	0,6
0+540,00	25	132,87	2,74	55,73	310,65	307,27	50,2	0,59
0+540,00	30	134,46	2,7	57,41	310,68	307,27	51,09	0,57
0+540,00	50	135,72	2,66	58,98	310,71	307,27	51,91	0,56
0+540,00	100	136,58	2,64	59,92	310,73	307,27	52,4	0,56

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 48. Características hidráulicas estación 0+560,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+560,00	2	77,11	2,89	30,09	310,56	308,64	39,31	0,74
0+560,00	5	103,27	2,96	40,29	310,8	308,64	46,85	0,71
0+560,00	10	125,53	3,2	45,63	310,91	308,64	50,25	0,74
0+560,00	20	131,59	3,21	47,74	310,95	308,64	51,53	0,74
0+560,00	25	132,87	3,21	48,31	310,96	308,64	51,88	0,73
0+560,00	30	134,46	3,2	49,07	310,98	308,64	52,33	0,73
0+560,00	50	135,72	3,19	49,72	310,99	308,64	52,71	0,72
0+560,00	100	136,58	3,18	50,18	311	308,64	52,98	0,72

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 49. **Características hidráulicas estación 0+580,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+580,00	2	77,11	2,88	26,77	311,12	309,33	18,7	0,77
0+580,00	5	103,27	2,68	44,84	311,33	309,33	60,15	0,67
0+580,00	10	125,53	2,65	55,4	311,5	309,33	66	0,63
0+580,00	20	131,59	2,66	57,46	311,53	309,33	66,11	0,63
0+580,00	25	132,87	2,67	57,77	311,53	309,33	66,12	0,63
0+580,00	30	134,46	2,69	58,09	311,54	309,33	66,13	0,64
0+580,00	50	135,72	2,7	58,34	311,54	309,33	66,13	0,64
0+580,00	100	136,58	2,71	58,49	311,55	309,33	66,14	0,64

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 50. **Características hidráulicas estación 0+600,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+600,00	2	77,11	2,3	41,12	311,82	310,03	65,1	0,6
0+600,00	5	103,27	2,81	44,58	311,87	310,03	65,24	0,72
0+600,00	10	125,53	2,99	49,89	311,95	310,03	65,45	0,75
0+600,00	20	131,59	3,01	51,59	311,98	310,03	65,52	0,75
0+600,00	25	132,87	3,02	51,91	311,98	310,03	65,53	0,75
0+600,00	30	134,46	3,02	52,31	311,99	310,03	65,55	0,75
0+600,00	50	135,72	3,03	52,62	311,99	310,03	65,56	0,75
0+600,00	100	136,58	3,04	52,83	312	310,03	65,57	0,75

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 51. **Características hidráulicas estación 0+620,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+620,00	2	77,11	2,44	35,27	312,23	310,82	57,72	0,74
0+620,00	5	103,27	2,43	46,33	312,41	310,82	62,31	0,68
0+620,00	10	125,53	2,54	52,44	312,51	310,82	62,49	0,69
0+620,00	20	131,59	2,58	53,69	312,53	310,82	62,52	0,69
0+620,00	25	132,87	2,59	53,99	312,53	310,82	62,53	0,69
0+620,00	30	134,46	2,6	54,35	312,54	310,82	62,54	0,7
0+620,00	50	135,72	2,61	54,64	312,54	310,82	62,55	0,7
0+620,00	100	136,58	2,61	54,83	312,54	310,82	62,55	0,7

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 52. **Características hidráulicas estación 0+640,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+640,00	2	77,11	1,73	48,99	313,09	311,65	75,15	0,51
0+640,00	5	103,27	2,32	48,99	313,09	311,65	75,15	0,69
0+640,00	10	125,53	2,72	50,61	313,12	311,65	75,22	0,8
0+640,00	20	131,59	2,72	52,53	313,14	311,65	75,3	0,79
0+640,00	25	132,87	2,74	52,63	313,14	311,65	75,31	0,8
0+640,00	30	134,46	2,75	53,06	313,15	311,65	75,33	0,8
0+640,00	50	135,72	2,75	53,38	313,15	311,65	75,34	0,8
0+640,00	100	136,58	2,77	53,36	313,15	311,65	75,34	0,8

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 53. Características hidráulicas estación 0+660,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+660,00	2	77,11	3,17	24,64	313,51	311,94	25,29	0,95
0+660,00	5	103,27	2,51	47,85	313,67	311,94	77,22	0,71
0+660,00	10	125,53	2,69	53,39	313,74	311,94	78,26	0,74
0+660,00	20	131,59	2,74	54,81	313,76	311,94	78,52	0,75
0+660,00	25	132,87	2,74	55,35	313,77	311,94	78,62	0,75
0+660,00	30	134,46	2,75	55,76	313,77	311,94	78,7	0,75
0+660,00	50	135,72	2,74	56,23	313,78	311,94	78,72	0,74
0+660,00	100	136,58	2,74	56,62	313,78	311,94	78,74	0,74

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 54. Características hidráulicas estación 0+680,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+680,00	2	77,11	2,46	31,39	314,36	312,41	21,88	0,64
0+680,00	5	103,27	3,65	28,28	314,21	312,41	20,85	1
0+680,00	10	125,53	3,85	32,67	314,41	312,41	22,61	0,99
0+680,00	20	131,59	3,87	34,15	314,48	312,41	23,5	0,98
0+680,00	25	132,87	3,87	34,55	314,49	312,41	23,94	0,97
0+680,00	30	134,46	3,89	34,82	314,51	312,41	24,24	0,97
0+680,00	50	135,72	3,88	35,25	314,52	312,41	24,71	0,97
0+680,00	100	136,58	3,89	35,38	314,53	312,41	24,85	0,97

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 55. Características hidráulicas estación 0+700,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+700,00	2	77,11	2,76	28,19	314,79	312,9	21,22	0,73
0+700,00	5	103,27	2,69	42,89	315,18	312,9	53,67	0,64
0+700,00	10	125,53	2,56	57,58	315,43	312,9	65,84	0,57
0+700,00	20	131,59	2,52	61,58	315,49	312,9	68,92	0,55
0+700,00	25	132,87	2,52	62,33	315,5	312,9	69,49	0,55
0+700,00	30	134,46	2,51	63,53	315,52	312,9	70,73	0,55
0+700,00	50	135,72	2,51	64,25	315,53	312,9	71,76	0,55
0+700,00	100	136,58	2,5	64,93	315,54	312,9	72,72	0,54

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 56. Características hidráulicas estación 0+720,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+720,00	2	77,11	1,89	45,27	315,35	313,34	53,58	0,47
0+720,00	5	103,27	1,89	62,33	315,64	313,34	63,23	0,43
0+720,00	10	125,53	2	71,69	315,78	313,34	67,89	0,44
0+720,00	20	131,59	2,03	74,19	315,82	313,34	69,08	0,44
0+720,00	25	132,87	2,04	74,71	315,83	313,34	69,32	0,45
0+720,00	30	134,46	2,04	75,4	315,84	313,34	69,65	0,45
0+720,00	50	135,72	2,05	75,93	315,85	313,34	69,9	0,45
0+720,00	100	136,58	2,05	76,31	315,85	313,34	70,07	0,45

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 57. **Características hidráulicas estación 0+740,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+740,00	2	77,11	3,07	25,14	315,58	314,17	26,26	1
0+740,00	5	103,27	3,36	30,74	315,79	314,17	26,97	1
0+740,00	10	125,53	3,52	35,65	315,97	314,17	28,81	1,01
0+740,00	20	131,59	3,58	36,71	316,01	314,17	29,41	1,02
0+740,00	25	132,87	3,6	36,91	316,01	314,17	29,54	1,02
0+740,00	30	134,46	3,12	45,13	316,2	314,17	54,12	0,83
0+740,00	50	135,72	3,12	45,73	316,21	314,17	54,57	0,83
0+740,00	100	136,58	3,11	46,17	316,22	314,17	54,9	0,82

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 58. **Características hidráulicas estación 0+760,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+760,00	2	77,11	2,22	34,73	316,58	314,87	32,95	0,68
0+760,00	5	103,27	2,45	42,49	316,8	314,87	35,65	0,68
0+760,00	10	125,53	2,6	49,04	316,98	314,87	38,26	0,68
0+760,00	20	131,59	2,64	51,08	317,03	314,87	43,59	0,68
0+760,00	25	132,87	2,65	51,56	317,04	314,87	44,74	0,68
0+760,00	30	134,46	2,9	47	316,93	314,87	37,13	0,78
0+760,00	50	135,72	2,92	47,1	316,93	314,87	37,16	0,78
0+760,00	100	136,58	2,94	47,14	316,93	314,87	37,17	0,78

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 59. Características hidráulicas estación 0+780,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+780,00	2	77,11	2,09	36,97	317,05	314,72	29,39	0,59
0+780,00	5	103,27	2,37	43,59	317,27	314,72	30,11	0,63
0+780,00	10	125,53	2,59	48,53	317,43	314,72	31,87	0,66
0+780,00	20	131,59	2,64	50,01	317,48	314,72	33,01	0,66
0+780,00	25	132,87	2,65	50,31	317,49	314,72	33,24	0,66
0+780,00	30	134,46	2,64	51,04	317,51	314,72	33,78	0,65
0+780,00	50	135,72	2,65	51,37	317,52	314,72	34,02	0,65
0+780,00	100	136,58	2,66	51,6	317,52	314,72	34,19	0,65

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 60. Características hidráulicas estación 0+800,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+800,00	2	77,11	2,84	27,13	317,69	315,78	33,05	1
0+800,00	5	103,27	3,19	32,41	317,84	315,78	33,44	1,03
0+800,00	10	125,53	3,47	36,19	317,96	315,78	33,71	1,07
0+800,00	20	131,59	3,54	37,16	317,99	315,78	33,78	1,08
0+800,00	25	132,87	3,55	37,39	317,99	315,78	33,8	1,08
0+800,00	30	134,46	3,54	37,98	318,01	315,78	33,84	1,07
0+800,00	50	135,72	3,59	37,85	318,01	315,78	33,83	1,08
0+800,00	100	136,58	3,6	37,92	318,01	315,78	33,84	1,09

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 61. **Características hidráulicas estación 0+820,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+820,00	2	77,11	2,82	27,32	318,87	317,47	32,06	0,98
0+820,00	5	103,27	3,13	32,95	319,04	317,47	32,66	1,00
0+820,00	10	125,53	3,33	37,71	319,19	317,47	33,17	1,00
0+820,00	20	131,59	3,37	39	319,23	317,47	33,3	1,00
0+820,00	25	132,87	3,39	39,24	319,23	317,47	33,33	1,00
0+820,00	30	134,46	3,43	39,16	319,23	317,47	33,32	1,01
0+820,00	50	135,72	3,41	39,82	319,25	317,47	33,39	1,00
0+820,00	100	136,58	3,41	40,08	319,26	317,47	33,41	0,99

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 62. **Características hidráulicas estación 0+840,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+840,00	2	77,11	2,12	36,4	319,67	317,99	28,41	0,60
0+840,00	5	103,27	2,4	42,99	319,9	317,99	29,05	0,63
0+840,00	10	125,53	2,2	64,33	320,08	317,99	75,4	0,55
0+840,00	20	131,59	2,19	67,67	320,12	317,99	75,47	0,54
0+840,00	25	132,87	2,19	68,4	320,13	317,99	75,48	0,54
0+840,00	30	134,46	2,17	69,62	320,15	317,99	75,51	0,53
0+840,00	50	135,72	2,18	69,96	320,16	317,99	75,51	0,53
0+840,00	100	136,58	2,18	70,36	320,16	317,99	75,52	0,53

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 63. **Características hidráulicas estación 0+860,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+860,00	2	77,11	1,86	41,82	320,01	317,77	33,22	0,46
0+860,00	5	103,27	2,07	52,76	320,29	317,77	45,92	0,48
0+860,00	10	125,53	2,44	54,82	320,33	317,77	47,93	0,56
0+860,00	20	131,59	2,5	56,3	320,36	317,77	49,33	0,57
0+860,00	25	132,87	2,51	56,62	320,37	317,77	49,63	0,57
0+860,00	30	134,46	2,53	57,06	320,38	317,77	50,04	0,58
0+860,00	50	135,72	2,54	57,33	320,38	317,77	50,29	0,58
0+860,00	100	136,58	2,55	57,54	320,39	317,77	50,47	0,58

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 64. **Características hidráulicas estación 0+880,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+880,00	2	77,11	2,1	36,82	320,24	318,14	26,75	0,56
0+880,00	5	103,27	2,36	44,43	320,5	318,14	31,82	0,58
0+880,00	10	125,53	2,66	48,48	320,62	318,14	36	0,63
0+880,00	20	131,59	2,72	49,89	320,66	318,14	37,35	0,64
0+880,00	25	132,87	2,73	50,2	320,67	318,14	37,64	0,64
0+880,00	30	134,46	2,75	50,58	320,68	318,14	37,99	0,64
0+880,00	50	135,72	2,76	50,87	320,69	318,14	38,26	0,64
0+880,00	100	136,58	2,77	51,07	320,69	318,14	38,44	0,64

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 65. **Características hidráulicas estación 0+900,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+900,00	2	77,11	3,09	24,97	320,6	319,21	25,44	1,00
0+900,00	5	103,27	3,24	31,92	320,86	319,21	27,82	0,96
0+900,00	10	125,53	3,4	36,88	321,04	319,21	28,56	0,96
0+900,00	20	131,59	3,45	38,13	321,08	319,21	28,75	0,96
0+900,00	25	132,87	3,46	38,38	321,09	319,21	28,79	0,96
0+900,00	30	134,46	3,47	38,7	321,1	319,21	28,83	0,96
0+900,00	50	135,72	3,48	38,95	321,11	319,21	28,87	0,96
0+900,00	100	136,58	3,49	39,12	321,12	319,21	28,89	0,96

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 66. **Características hidráulicas estación 0+920,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+920,00	2	77,11	1,97	39,15	321,5	319,71	31,32	0,56
0+920,00	5	103,27	2,21	46,66	321,74	319,71	31,62	0,58
0+920,00	10	125,53	2,38	53,44	321,92	319,71	40,99	0,59
0+920,00	20	131,59	2,41	55,47	321,97	319,71	41,57	0,59
0+920,00	25	132,87	2,42	55,91	321,98	319,71	41,69	0,59
0+920,00	30	134,46	2,43	56,44	321,99	319,71	41,84	0,59
0+920,00	50	135,72	2,43	56,87	322	319,71	41,96	0,59
0+920,00	100	136,58	2,44	57,16	322,01	319,71	42,04	0,59

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 67. **Características hidráulicas estación 0+940,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+940,00	2	77,11	2,39	32,27	321,92	320,28	35,06	0,80
0+940,00	5	103,27	2,57	40,21	322,14	320,28	35,5	0,77
0+940,00	10	125,53	2,71	46,39	322,32	320,28	35,85	0,76
0+940,00	20	131,59	2,75	47,92	322,36	320,28	36,08	0,76
0+940,00	25	132,87	2,75	48,24	322,37	320,28	36,14	0,76
0+940,00	30	134,46	2,77	48,63	322,38	320,28	36,21	0,76
0+940,00	50	135,72	2,77	48,94	322,39	320,28	36,27	0,76
0+940,00	100	136,58	2,78	49,15	322,39	320,28	36,31	0,76

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 68. **Características hidráulicas estación 0+960,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+960,00	2	77,11	2,17	35,5	322,64	320,98	37,72	0,71
0+960,00	5	103,27	2,45	42,1	322,81	320,98	38,1	0,75
0+960,00	10	125,53	2,65	47,44	322,95	320,98	38,41	0,76
0+960,00	20	131,59	2,69	48,87	322,99	320,98	38,49	0,76
0+960,00	25	132,87	2,7	49,17	323	320,98	38,51	0,76
0+960,00	30	134,46	2,71	49,55	323	320,98	38,53	0,76
0+960,00	50	135,72	2,72	49,84	323,01	320,98	38,55	0,76
0+960,00	100	136,58	2,73	50,04	323,02	320,98	38,56	0,77

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 69. **Características hidráulicas estación 0+980,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
0+980,00	2	77,11	2,57	29,97	323,31	321,86	35,13	0,89
0+980,00	5	103,27	2,85	36,2	323,49	321,86	35,65	0,90
0+980,00	10	125,53	3,07	40,87	323,62	321,86	35,96	0,92
0+980,00	20	131,59	3,13	42,08	323,65	321,86	36,03	0,92
0+980,00	25	132,87	3,14	42,33	323,66	321,86	36,04	0,92
0+980,00	30	134,46	3,15	42,64	323,67	321,86	36,06	0,93
0+980,00	50	135,72	3,16	42,89	323,68	321,86	36,08	0,93
0+980,00	100	136,58	3,17	43,05	323,68	321,86	36,09	0,93

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 70. **Características hidráulicas estación 1+000,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+000,00	2	77,11	2,24	34,43	324,16	322,5	34,91	0,72
1+000,00	5	103,27	2,51	41,13	324,35	322,5	35,48	0,74
1+000,00	10	125,53	2,7	46,46	324,5	322,5	35,92	0,76
1+000,00	20	131,59	2,75	47,86	324,54	322,5	36,12	0,76
1+000,00	25	132,87	2,76	48,14	324,55	322,5	36,29	0,76
1+000,00	30	134,46	2,77	48,5	324,56	322,5	36,49	0,76
1+000,00	50	135,72	2,78	48,78	324,57	322,5	36,65	0,76
1+000,00	100	136,58	2,79	48,97	324,57	322,5	36,76	0,76

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 71. **Características hidráulicas estación 1+020,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+020,00	2	77,11	2,75	28,19	324,89	323,49	36,47	0,97
1+020,00	5	103,27	3,03	34,59	325,07	323,49	38,24	0,97
1+020,00	10	125,53	3,19	40,2	325,21	323,49	41,15	0,96
1+020,00	20	131,59	3,21	41,9	325,25	323,49	42,42	0,95
1+020,00	25	132,87	3,22	42,26	325,26	323,49	42,68	0,95
1+020,00	30	134,46	3,23	42,71	325,27	323,49	43,01	0,95
1+020,00	50	135,72	3,23	43,06	325,28	323,49	43,27	0,94
1+020,00	100	136,58	3,24	43,3	325,28	323,49	43,44	0,94

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 72. **Características hidráulicas estación 1+040,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+040,00	2	77,11	2,36	32,91	325,82	324,33	35,2	0,74
1+040,00	5	103,27	2,68	39,45	325,99	324,33	39,73	0,77
1+040,00	10	125,53	2,92	44,44	326,11	324,33	42,94	0,80
1+040,00	20	131,59	2,99	45,56	326,14	324,33	43,75	0,82
1+040,00	25	132,87	3,01	45,79	326,15	324,33	43,91	0,82
1+040,00	30	134,46	3,02	46,09	326,15	324,33	44,12	0,82
1+040,00	50	135,72	3,04	46,28	326,16	324,33	44,25	0,82
1+040,00	100	136,58	3,05	46,45	326,16	324,33	44,38	0,83

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 73. Características hidráulicas estación 1+060,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+060,00	2	77,11	2,09	36,88	326,47	324,96	41,61	0,70
1+060,00	5	103,27	2,28	45,71	326,68	324,96	45,61	0,69
1+060,00	10	125,53	2,4	53,06	326,83	324,96	48,69	0,68
1+060,00	20	131,59	2,43	55,13	326,88	324,96	49,52	0,68
1+060,00	25	132,87	2,43	55,57	326,88	324,96	49,7	0,68
1+060,00	30	134,46	2,44	56,11	326,9	324,96	49,91	0,68
1+060,00	50	135,72	2,44	56,56	326,9	324,96	50,09	0,68
1+060,00	100	136,58	2,45	56,84	326,91	324,96	50,2	0,68

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 74. Características hidráulicas estación 1+080,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+080,00	2	77,11	2,24	34,47	327,1	325,52	39,93	0,77
1+080,00	5	103,27	2,49	41,52	327,27	325,52	42,25	0,80
1+080,00	10	125,53	2,47	51,15	327,45	325,52	58,72	0,83
1+080,00	20	131,59	2,5	52,85	327,48	325,52	58,84	0,82
1+080,00	25	132,87	2,51	53,22	327,48	325,52	58,87	0,82
1+080,00	30	134,46	2,52	53,68	327,49	325,52	58,9	0,82
1+080,00	50	135,72	2,52	54,04	327,5	325,52	58,92	0,82
1+080,00	100	136,58	2,53	54,28	327,5	325,52	58,94	0,82

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 75. **Características hidráulicas estación 1+100,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+100,00	2	77,11	2,21	34,86	327,85	326,55	43,83	0,79
1+100,00	5	103,27	2,39	43,29	328,03	326,55	46,62	0,79
1+100,00	10	125,53	2,39	52,7	328,21	326,55	57,82	0,77
1+100,00	20	131,59	2,45	54,12	328,23	326,55	58,39	0,78
1+100,00	25	132,87	2,46	54,42	328,24	326,55	58,5	0,78
1+100,00	30	134,46	2,47	54,78	328,24	326,55	58,64	0,78
1+100,00	50	135,72	2,48	55,06	328,25	326,55	58,75	0,79
1+100,00	100	136,58	2,49	55,25	328,25	326,55	58,83	0,79

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 76. **Características hidráulicas estación 1+120,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+120,00	2	77,11	2,02	38,09	328,51	327,29	40,5	0,67
1+120,00	5	103,27	2,3	44,94	328,68	327,29	41,16	0,70
1+120,00	10	125,53	2,5	50,67	328,81	327,29	48,85	0,72
1+120,00	20	131,59	2,55	52,19	328,84	327,29	49,01	0,73
1+120,00	25	132,87	2,56	52,51	328,84	327,29	49,05	0,73
1+120,00	30	134,46	2,57	52,9	328,85	327,29	49,09	0,73
1+120,00	50	135,72	2,58	53,21	328,86	327,29	49,12	0,73
1+120,00	100	136,58	2,59	53,42	328,86	327,29	49,14	0,73

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 77. **Características hidráulicas estación 1+140,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+140,00	2	77,11	2,81	27,48	329,1	327,7	31,87	0,96
1+140,00	5	103,27	3,67	28,14	329,12	327,7	31,96	1,25
1+140,00	10	125,53	3,66	34,33	329,31	327,7	32,85	1,14
1+140,00	20	131,59	3,63	36,23	329,37	327,7	33,11	1,11
1+140,00	25	132,87	3,63	36,56	329,38	327,7	33,16	1,11
1+140,00	30	134,46	3,61	37,29	329,4	327,7	33,25	1,09
1+140,00	50	135,72	3,61	37,61	329,41	327,7	33,28	1,08
1+140,00	100	136,58	3,6	37,92	329,42	327,7	33,32	1,08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 78. **Características hidráulicas estación 1+160,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+160,00	2	77,11	2,97	25,95	330,11	328,87	25,49	0,94
1+160,00	5	103,27	2,57	47,72	330,43	328,87	76,77	0,71
1+160,00	10	125,53	2,72	55,19	330,53	328,87	76,98	0,73
1+160,00	20	131,59	2,76	56,84	330,55	328,87	77,03	0,73
1+160,00	25	132,87	2,77	57,31	330,56	328,87	77,04	0,73
1+160,00	30	134,46	2,8	57,37	330,56	328,87	77,04	0,74
1+160,00	50	135,72	2,8	57,84	330,57	328,87	77,06	0,74
1+160,00	100	136,58	2,81	58,01	330,57	328,87	77,06	0,74

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 79. **Características hidráulicas estación 1+180,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+180,00	2	77,11	1,77	51,95	330,9	329,27	70,22	0,49
1+180,00	5	103,27	2,17	56,1	330,96	329,27	70,35	0,59
1+180,00	10	125,53	2,29	63,21	331,06	329,27	70,56	0,61
1+180,00	20	131,59	2,32	65,14	331,09	329,27	70,62	0,61
1+180,00	25	132,87	2,32	65,46	331,1	329,27	70,63	0,61
1+180,00	30	134,46	2,32	66,18	331,11	329,27	70,66	0,61
1+180,00	50	135,72	2,33	66,49	331,11	329,27	70,67	0,61
1+180,00	100	136,58	2,33	66,78	331,12	329,27	70,67	0,61

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 80. **Características hidráulicas estación 1+200,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+200,00	2	77,11	3,35	23,49	331,2	329,57	22,8	0,94
1+200,00	5	103,27	3,4	32,44	331,53	329,57	31,29	0,87
1+200,00	10	125,53	2,61	58,94	331,69	329,57	69,79	0,64
1+200,00	20	131,59	2,74	58,94	331,69	329,57	69,79	0,67
1+200,00	25	132,87	2,76	58,94	331,69	329,57	69,79	0,68
1+200,00	30	134,46	2,8	58,94	331,69	329,57	69,79	0,69
1+200,00	50	135,72	2,82	58,94	331,69	329,57	69,79	0,69
1+200,00	100	136,58	2,84	58,94	331,69	329,57	69,79	0,70

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 81. Características hidráulicas estación 1+220,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+220,00	2	77,11	1,77	52,23	332,1	330,29	69,38	0,47
1+220,00	5	103,27	1,71	69,58	332,35	330,29	69,7	0,43
1+220,00	10	125,53	2,74	54,84	332,14	330,29	69,42	0,72
1+220,00	20	131,59	2,73	57,37	332,18	330,29	69,45	0,71
1+220,00	25	132,87	2,72	57,91	332,18	330,29	69,46	0,71
1+220,00	30	134,46	2,71	58,79	332,2	330,29	69,47	0,70
1+220,00	50	135,72	2,7	59,48	332,21	330,29	69,48	0,70
1+220,00	100	136,58	2,69	59,95	332,21	330,29	69,48	0,69

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 82. Características hidráulicas estación 1+240,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+240,00	2	77,11	3,33	23,22	332,7	331,09	21,33	0,99
1+240,00	5	103,27	2,08	56,17	332,83	331,09	71,47	0,60
1+240,00	10	125,53	2,53	56,17	332,83	331,09	71,47	0,73
1+240,00	20	131,59	2,65	56,17	332,83	331,09	71,47	0,76
1+240,00	25	132,87	2,68	56,17	332,83	331,09	71,47	0,77
1+240,00	30	134,46	2,71	56,17	332,83	331,09	71,47	0,78
1+240,00	50	135,72	2,73	56,17	332,83	331,09	71,47	0,79
1+240,00	100	136,58	2,75	56,17	332,83	331,09	71,47	0,79

Fuente: elaboración propia.



**Apéndice 83. Características hidráulicas estación 1+260,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+260,00	2	77,11	2,44	35	333,63	331,71	43,41	0,64
1+260,00	5	103,27	3,09	37,66	333,69	331,71	47,67	0,79
1+260,00	10	125,53	3,06	48,88	333,9	331,71	62,57	0,74
1+260,00	20	131,59	3,07	51,7	333,94	331,71	65,78	0,73
1+260,00	25	132,87	3,09	51,89	333,94	331,71	65,98	0,73
1+260,00	30	134,46	3,08	52,92	333,96	331,71	67,13	0,73
1+260,00	50	135,72	3,08	53,49	333,97	331,71	67,74	0,73
1+260,00	100	136,58	3,07	54	333,97	331,71	68,29	0,72

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 84. Características hidráulicas estación 1+280,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+280,00	2	77,11	2,34	34,02	334,06	332,16	31,65	0,63
1+280,00	5	103,27	2,47	43,07	334,33	332,16	37,59	0,61
1+280,00	10	125,53	2,81	46,18	334,41	332,16	39,95	0,68
1+280,00	20	131,59	2,9	46,83	334,42	332,16	40,42	0,70
1+280,00	25	132,87	2,91	47,18	334,43	332,16	40,67	0,70
1+280,00	30	134,46	2,94	47,33	334,44	332,16	40,78	0,70
1+280,00	50	135,72	2,95	47,54	334,44	332,16	40,94	0,71
1+280,00	100	136,58	2,97	47,66	334,44	332,16	41,02	0,71

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 85. Características hidráulicas estación 1+300,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+300,00	2	77,11	2,52	30,56	334,46	332,62	21,85	0,68
1+300,00	5	103,27	2,94	35,4	334,67	332,62	25,43	0,74
1+300,00	10	125,53	3,26	39,25	334,81	332,62	28,33	0,79
1+300,00	20	131,59	3,34	40,34	334,85	332,62	29,09	0,80
1+300,00	25	132,87	3,35	40,55	334,86	332,62	29,23	0,80
1+300,00	30	134,46	3,37	40,84	334,87	332,62	29,43	0,80
1+300,00	50	135,72	3,39	41,06	334,87	332,62	29,58	0,80
1+300,00	100	136,58	3,4	41,21	334,88	332,62	29,69	0,81

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 86. Características hidráulicas estación 1+320,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+320,00	2	77,11	2,87	27,18	334,97	333,12	24,26	0,80
1+320,00	5	103,27	3,14	34,04	335,23	333,12	27,91	0,80
1+320,00	10	125,53	3,32	39,83	335,43	333,12	30,37	0,80
1+320,00	20	131,59	3,35	41,53	335,48	333,12	31,06	0,79
1+320,00	25	132,87	3,35	41,93	335,5	333,12	31,22	0,79
1+320,00	30	134,46	3,36	42,39	335,51	333,12	31,4	0,79
1+320,00	50	135,72	3,36	42,76	335,52	333,12	31,55	0,79
1+320,00	100	136,58	3,36	43,01	335,53	333,12	31,65	0,79

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 87. **Características hidráulicas estación 1+340,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+340,00	2	77,11	2,93	26,72	335,65	334,12	24,38	0,81
1+340,00	5	103,27	3,27	33,08	335,89	334,12	29,43	0,83
1+340,00	10	125,53	3,49	38,7	336,06	334,12	35,83	0,85
1+340,00	20	131,59	3,57	40,28	336,11	334,12	41,03	0,86
1+340,00	25	132,87	3,33	44,71	336,2	334,12	47,06	0,78
1+340,00	30	134,46	3,34	45,18	336,21	334,12	47,46	0,78
1+340,00	50	135,72	3,35	45,67	336,22	334,12	47,87	0,78
1+340,00	100	136,58	3,35	46,01	336,23	334,12	48,15	0,78

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 88. **Características hidráulicas estación 1+360,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+360,00	2	77,11	2,68	29,8	336,31	334,37	29,07	0,68
1+360,00	5	103,27	2,88	39,73	336,6	334,37	39,36	0,67
1+360,00	10	125,53	2,94	49,69	336,82	334,37	50,02	0,65
1+360,00	20	131,59	2,91	53,27	336,89	334,37	52,88	0,63
1+360,00	25	132,87	3,09	50	336,83	334,37	50,27	0,68
1+360,00	30	134,46	3,1	50,64	336,84	334,37	50,79	0,68
1+360,00	50	135,72	3,11	50,96	336,85	334,37	51,05	0,68
1+360,00	100	136,58	3,12	51,15	336,85	334,37	51,2	0,69

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 89. **Características hidráulicas estación 1+380,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+380,00	2	77,11	2,5	33,12	336,82	334,79	37,72	0,63
1+380,00	5	103,27	2,61	44,86	337,1	334,79	43,88	0,61
1+380,00	10	125,53	2,72	52,59	337,27	334,79	45,34	0,61
1+380,00	20	131,59	2,79	54,05	337,3	334,79	46,73	0,62
1+380,00	25	132,87	2,75	55,56	337,34	334,79	48,14	0,61
1+380,00	30	134,46	2,77	56,02	337,35	334,79	48,56	0,61
1+380,00	50	135,72	2,78	56,45	337,36	334,79	48,95	0,61
1+380,00	100	136,58	2,78	56,79	337,36	334,79	49,25	0,61

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 90. **Características hidráulicas estación 1+400,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+400,00	2	77,11	2,88	26,74	337,25	335,42	18,41	0,76
1+400,00	5	103,27	3,44	30,48	337,42	335,42	26,17	0,86
1+400,00	10	125,53	3,48	38,82	337,68	335,42	35,56	0,81
1+400,00	20	131,59	3,5	40,77	337,73	335,42	35,95	0,81
1+400,00	25	132,87	3,5	41,17	337,74	335,42	36,03	0,81
1+400,00	30	134,46	3,51	41,65	337,76	335,42	36,12	0,80
1+400,00	50	135,72	3,52	41,93	337,76	335,42	36,17	0,81
1+400,00	100	136,58	3,52	42,25	337,77	335,42	36,24	0,80

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 91. Características hidráulicas estación 1+420,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+420,00	2	77,11	2,82	27,34	337,87	335,64	19,18	0,75
1+420,00	5	103,27	3,01	34,36	338,22	335,64	20,75	0,75
1+420,00	10	125,53	3,41	36,79	338,34	335,64	21,05	0,82
1+420,00	20	131,59	3,51	37,52	338,37	335,64	21,32	0,84
1+420,00	25	132,87	3,53	37,67	338,38	335,64	21,37	0,84
1+420,00	30	134,46	3,55	37,86	338,39	335,64	21,44	0,85
1+420,00	50	135,72	3,57	38,03	338,4	335,64	21,5	0,85
1+420,00	100	136,58	3,59	38,12	338,4	335,64	21,53	0,85

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 92. Características hidráulicas estación 1+440,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+440,00	2	77,11	2,85	27,07	338,47	336,47	19,11	0,76
1+440,00	5	103,27	3,13	33,02	338,77	336,47	19,83	0,77
1+440,00	10	125,53	3,36	37,48	338,99	336,47	21,46	0,79
1+440,00	20	131,59	3,41	38,8	339,05	336,47	22,01	0,78
1+440,00	25	132,87	3,42	39,09	339,06	336,47	22,13	0,78
1+440,00	30	134,46	3,43	39,44	339,08	336,47	22,28	0,78
1+440,00	50	135,72	3,44	39,71	339,09	336,47	22,39	0,78
1+440,00	100	136,58	3,44	39,91	339,1	336,47	22,47	0,78

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 93. **Características hidráulicas estación 1+460,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+460,00	2	77,11	3,32	23,22	339,14	337,42	19,1	0,96
1+460,00	5	103,27	3,65	28,44	339,4	337,42	21,1	0,96
1+460,00	10	125,53	3,85	33,06	339,61	337,42	22,78	0,95
1+460,00	20	131,59	3,88	34,42	339,67	337,42	23,25	0,95
1+460,00	25	132,87	3,89	34,71	339,68	337,42	23,35	0,94
1+460,00	30	134,46	3,89	35,07	339,7	337,42	23,47	0,94
1+460,00	50	135,72	3,9	35,35	339,71	337,42	23,57	0,94
1+460,00	100	136,58	3,91	35,54	339,72	337,42	23,63	0,94

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 94. **Características hidráulicas estación 1+480,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+480,00	2	77,11	2,5	30,97	340,05	338,33	21,92	0,65
1+480,00	5	103,27	2,77	37,74	340,34	338,33	24,24	0,67
1+480,00	10	125,53	2,96	43,11	340,56	338,33	26,07	0,68
1+480,00	20	131,59	3,02	44,45	340,61	338,33	26,51	0,68
1+480,00	25	132,87	3,03	44,74	340,62	338,33	26,6	0,68
1+480,00	30	134,46	3,04	45,08	340,63	338,33	26,71	0,68
1+480,00	50	135,72	3,05	45,35	340,64	338,33	26,8	0,69
1+480,00	100	136,58	3,06	45,54	340,65	338,33	26,86	0,69

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 95. **Características hidráulicas estación 1+500,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+500,00	2	77,11	3,19	24,16	340,52	339,07	19,39	0,91
1+500,00	5	103,27	3,53	29,29	340,78	339,07	20,17	0,93
1+500,00	10	125,53	3,79	33,12	340,97	339,07	20,76	0,96
1+500,00	20	131,59	3,86	34,07	341,01	339,07	20,97	0,96
1+500,00	25	132,87	3,88	34,27	341,02	339,07	21,01	0,96
1+500,00	30	134,46	3,9	34,51	341,03	339,07	21,06	0,97
1+500,00	50	135,72	3,91	34,71	341,04	339,07	21,11	0,97
1+500,00	100	136,58	3,92	34,84	341,05	339,07	21,13	0,97

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 96. **Características hidráulicas estación 1+520,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+520,00	2	77,11	3,26	23,66	341,37	339,54	15,73	0,85
1+520,00	5	103,27	3,71	27,85	341,64	339,54	15,9	0,89
1+520,00	10	125,53	4,05	31,02	341,84	339,54	16,03	0,93
1+520,00	20	131,59	4,13	31,83	341,89	339,54	16,06	0,94
1+520,00	25	132,87	4,15	32	341,9	339,54	16,07	0,94
1+520,00	30	134,46	4,18	32,2	341,91	339,54	16,08	0,94
1+520,00	50	135,72	4,19	32,37	341,92	339,54	16,09	0,94
1+520,00	100	136,58	4,21	32,48	341,93	339,54	16,09	0,95

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 97. Características hidráulicas estación 1+528,73**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+528,73	2	77,11	2,66	28,97	341,83	339,7	15,89	0,63
1+528,73	5	103,27	2,98	34,66	342,19	339,7	16,12	0,65
1+528,73	10	125,53	3,21	39,16	342,47	339,7	16,3	0,66
1+528,73	20	131,59	3,26	40,35	342,54	339,7	16,35	0,66
1+528,73	25	132,87	3,27	40,6	342,56	339,7	16,36	0,66
1+528,73	30	134,46	3,29	40,92	342,57	339,7	16,37	0,66
1+528,73	50	135,72	3,3	41,16	342,59	339,7	16,38	0,66
1+528,73	100	136,58	3,3	41,33	342,6	339,7	16,39	0,66

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 98. Características hidráulicas estación 1+530,29**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+530,29	2	77,11	2,62	29,4	341,88	339,72	15,89	0,62
1+530,29	5	103,27	2,94	35,17	342,24	339,72	16,12	0,63
1+530,29	10	125,53	3,16	39,72	342,52	339,72	16,31	0,65
1+530,29	20	131,59	3,22	40,92	342,59	339,72	16,35	0,65
1+530,29	25	132,87	3,23	41,17	342,61	339,72	16,36	0,65
1+530,29	30	134,46	3,24	41,49	342,63	339,72	16,38	0,65
1+530,29	50	135,72	3,25	41,73	342,64	339,72	16,39	0,65
1+530,29	100	136,58	3,26	41,9	342,65	339,72	16,39	0,65

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 99. **Características hidráulicas estación 1+540,00**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+540	2	77,11	2,11	36,6	342,18	339,9	20,84	0,51
1+540	5	103,27	2,26	45,66	342,59	339,9	22,45	0,51
1+540	10	125,53	2,36	53,3	342,92	339,9	24,32	0,50
1+540	20	131,59	2,38	55,42	343,01	339,9	24,81	0,50
1+540	25	132,87	2,38	55,87	343,03	339,9	24,92	0,50
1+540	30	134,46	2,39	56,43	343,05	339,9	25,04	0,50
1+540	50	135,72	2,39	56,87	343,07	339,9	25,14	0,50
1+540	100	136,58	2,39	57,18	343,08	339,9	25,21	0,50

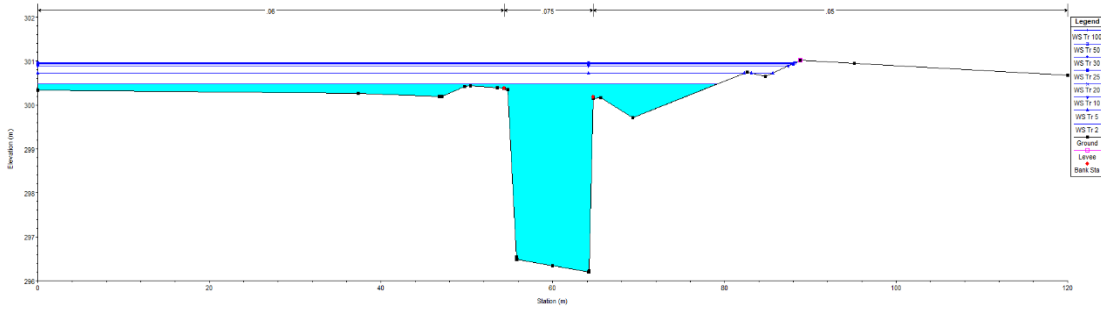
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 100. **Características hidráulicas estación 1+556,74**

Estación	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Área (m²)	Cota superficie de agua (m)	Cota mínima de la sección (m)	Ancho del espejo de agua (m)	Número de Froude
1+556,74	2	77,11	2,14	36,06	342,39	339,98	19,3	0,50
1+556,74	5	103,27	2,35	43,97	342,79	339,98	19,98	0,51
1+556,74	10	125,53	2,5	50,45	343,1	339,98	21,98	0,51
1+556,74	20	131,59	2,53	52,25	343,18	339,98	22,55	0,51
1+556,74	25	132,87	2,54	52,63	343,2	339,98	22,66	0,51
1+556,74	30	134,46	2,55	53,1	343,22	339,98	22,81	0,51
1+556,74	50	135,72	2,56	53,48	343,23	339,98	22,93	0,51
1+556,74	100	136,58	2,56	53,74	343,25	339,98	23,01	0,51

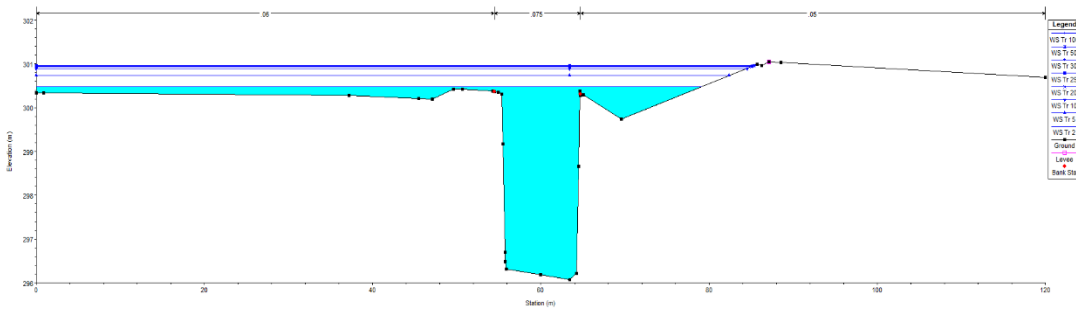
Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 101. Sección transversal estación 0+000,00



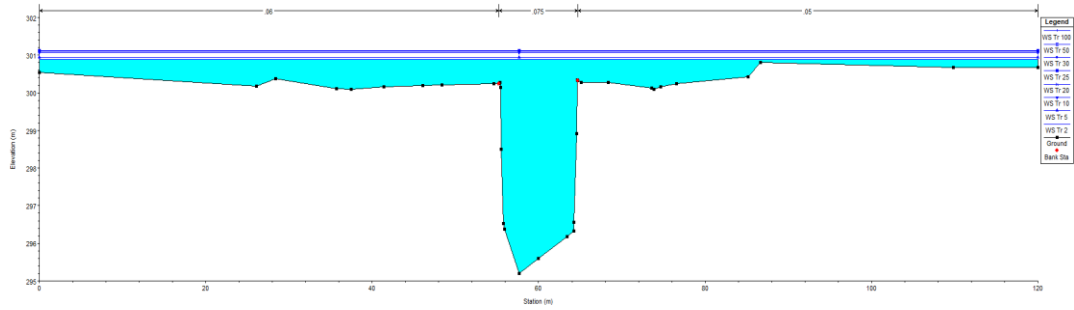
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 102. Sección transversal estación 0+000,43



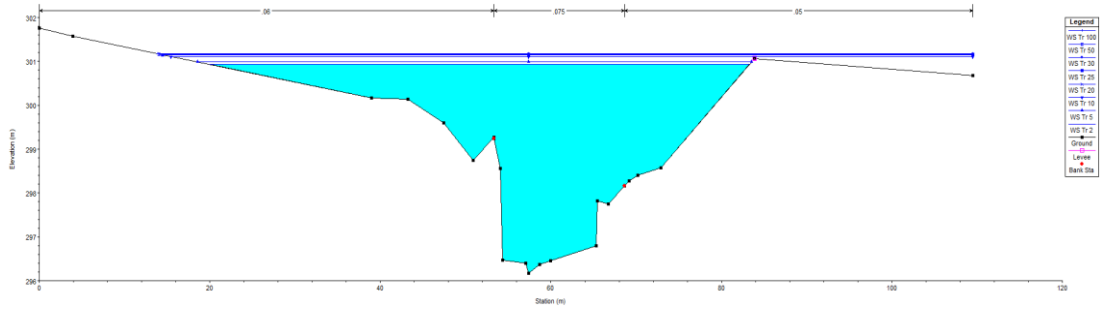
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 103. Sección transversal estación 0+007,69



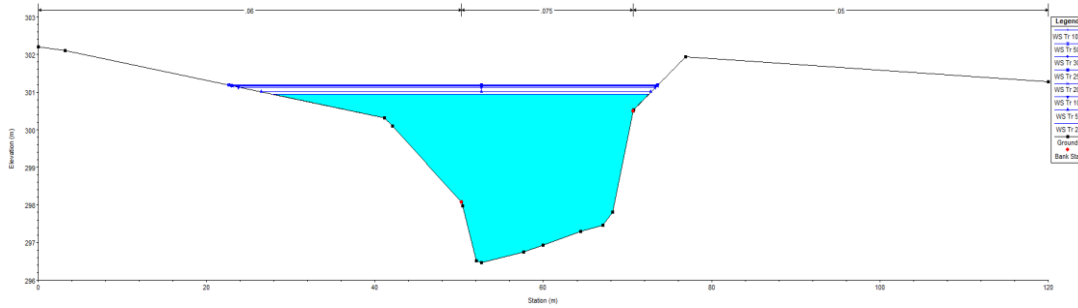
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 104. Sección transversal estación 0+020,00



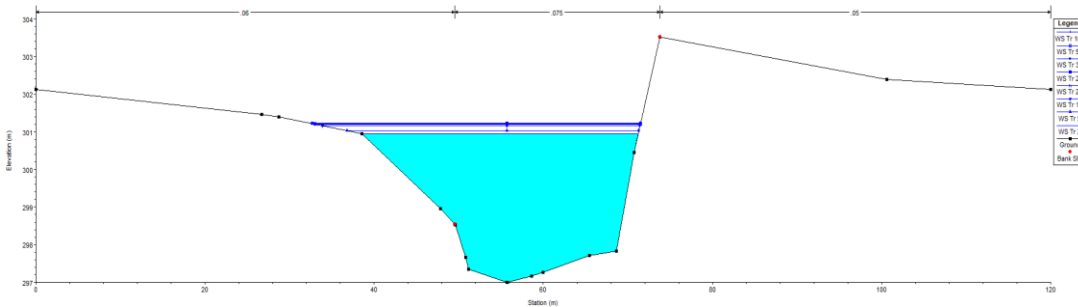
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

**Apéndice 105. Sección transversal estación 0+040,00**



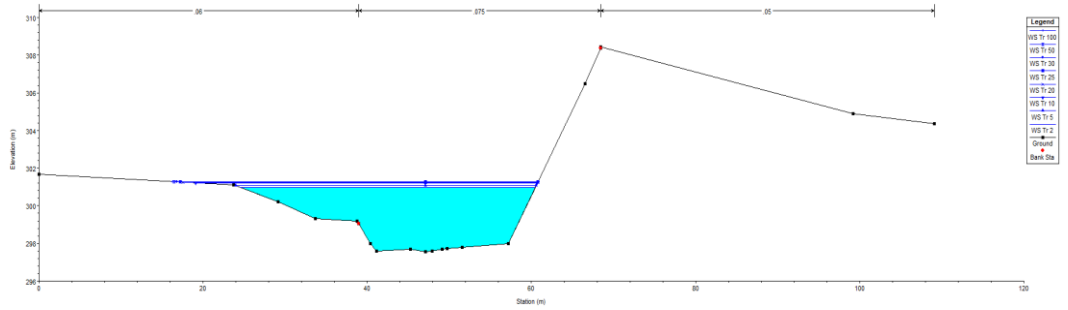
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

**Apéndice 106. Sección transversal estación 0+060,00**



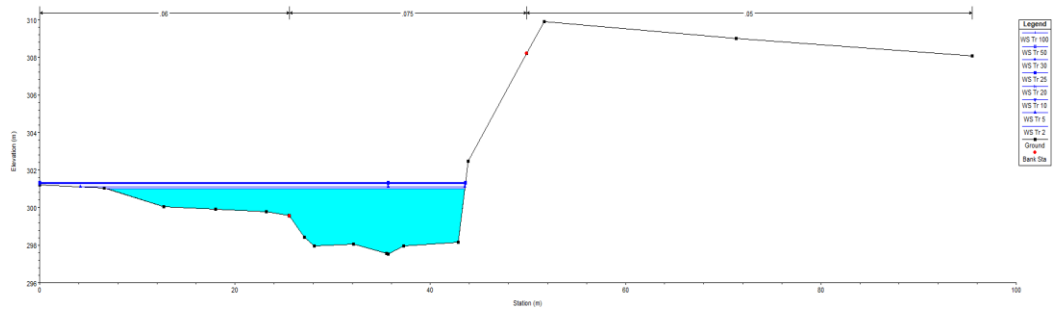
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 107. Sección transversal estación 0+080,00



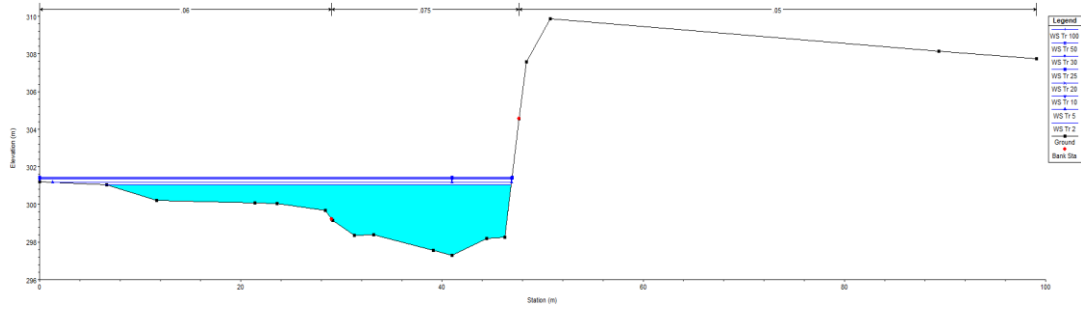
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 108. Sección transversal estación 0+100,00



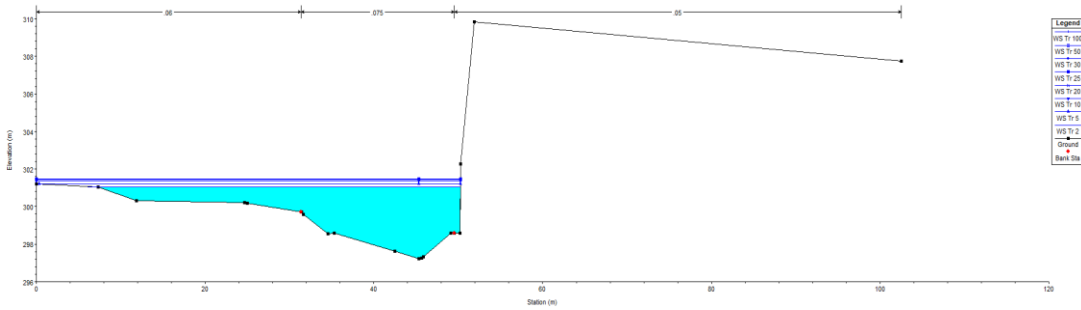
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 109. Sección transversal estación 0+114,68



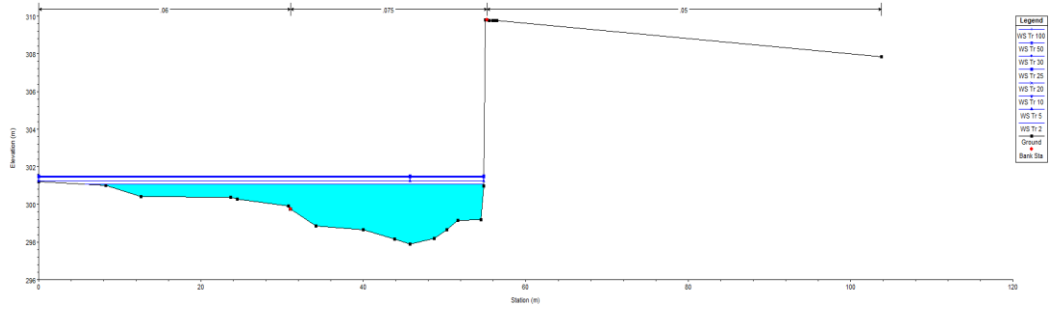
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 110. Sección transversal estación 0+122,73



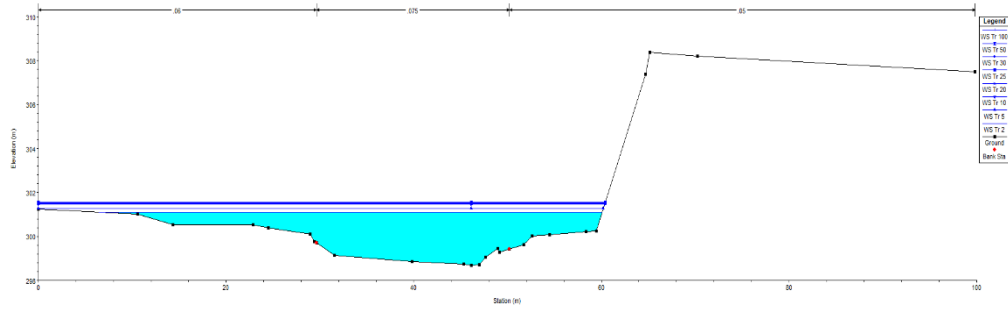
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 111. Sección transversal estación 0+131,53



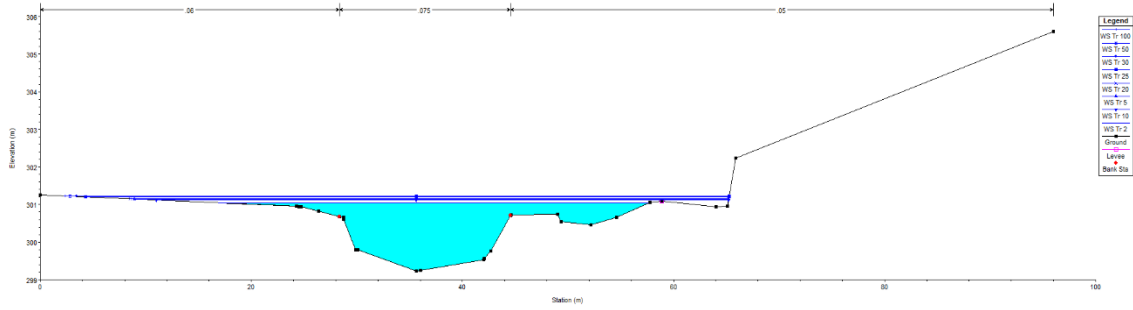
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 112. Sección transversal estación 0+140,00



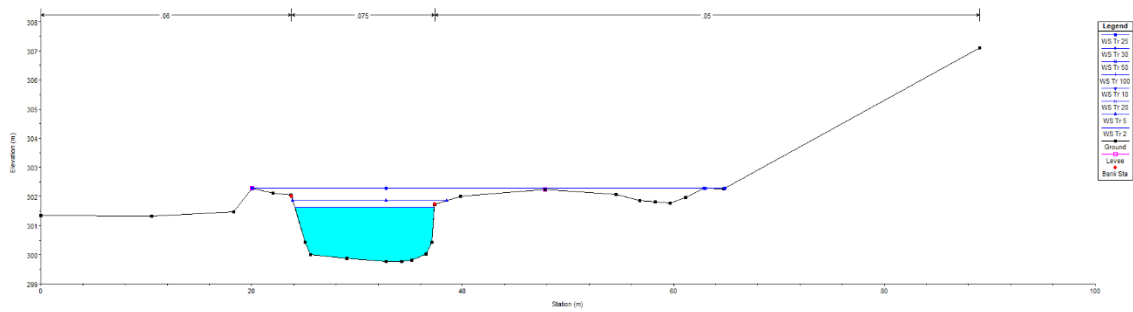
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 113. Sección transversal estación 0+160,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

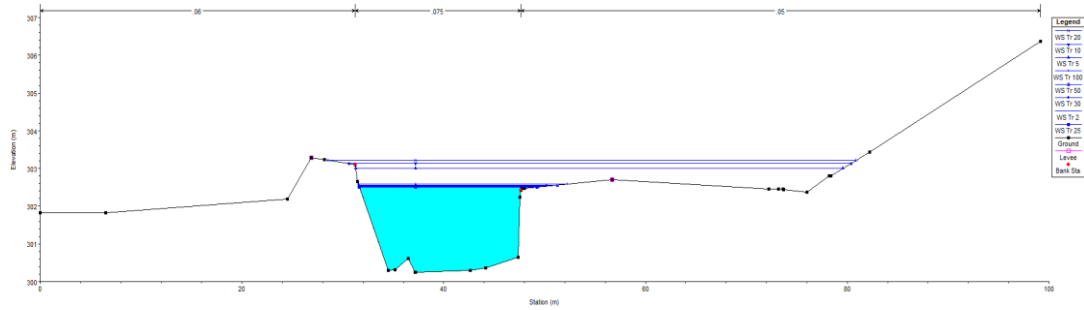
### Apéndice 114. Sección transversal estación 0+180,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

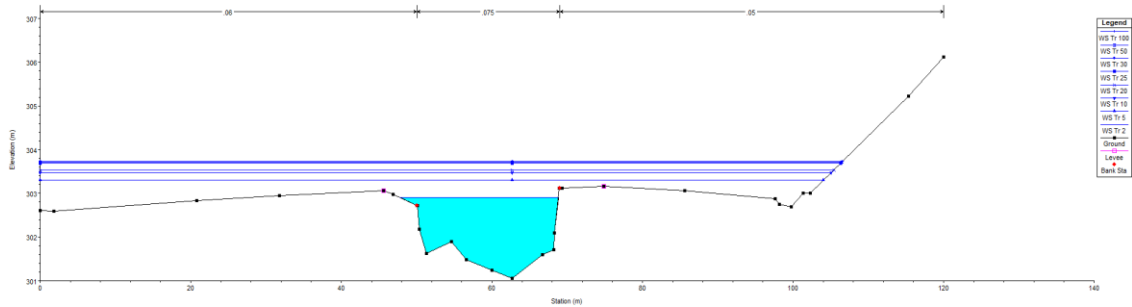


### Apéndice 115. Sección transversal estación 0+200,00



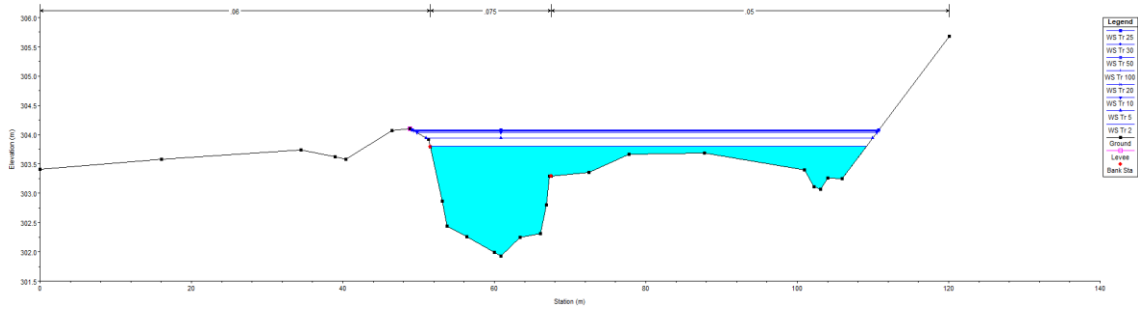
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 116. Sección transversal estación 0+220,00



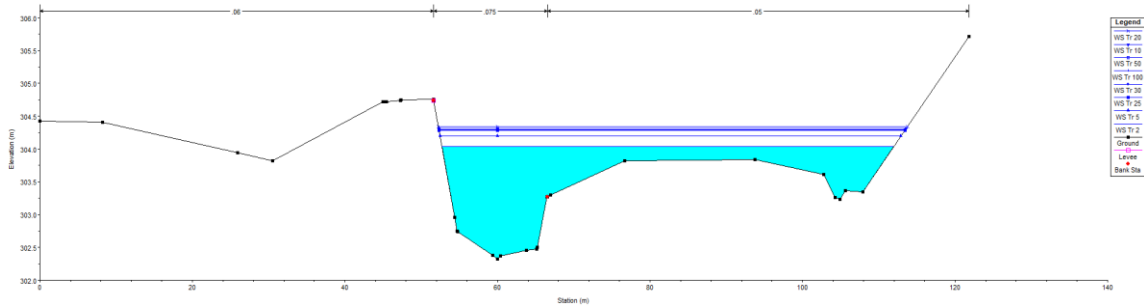
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 117. Sección transversal estación 0+240,00



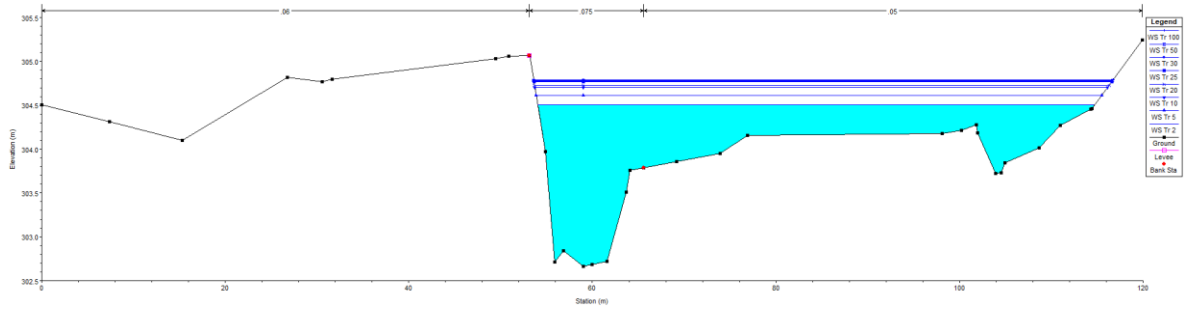
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 118. Sección transversal estación 0+248,85



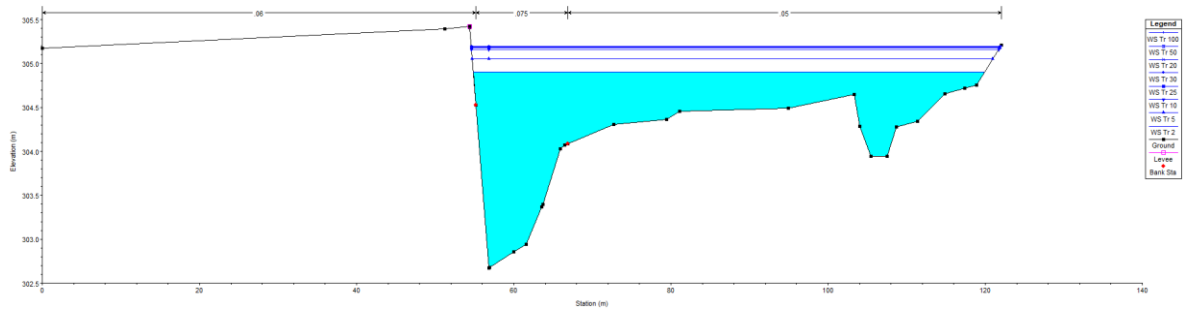
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 119. Sección transversal estación 0+265,14



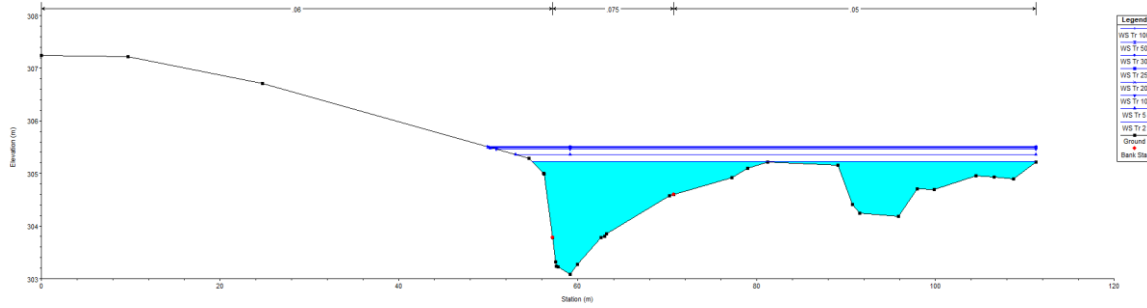
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 120. Sección transversal estación 0+281,63



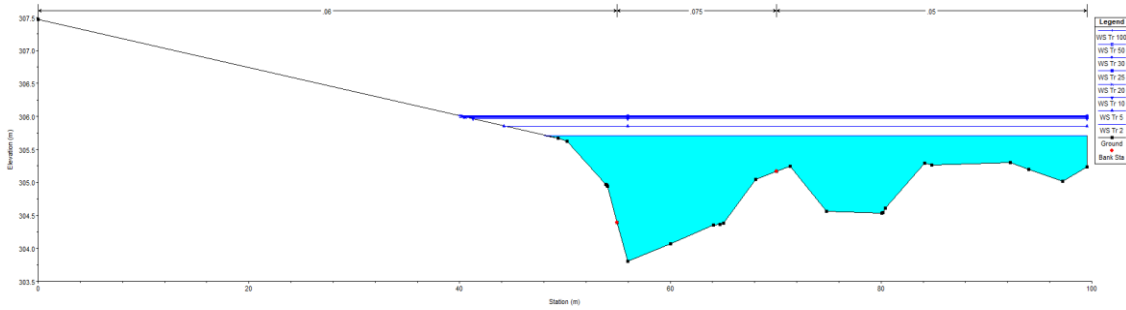
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 121. Sección transversal estación 0+303,13



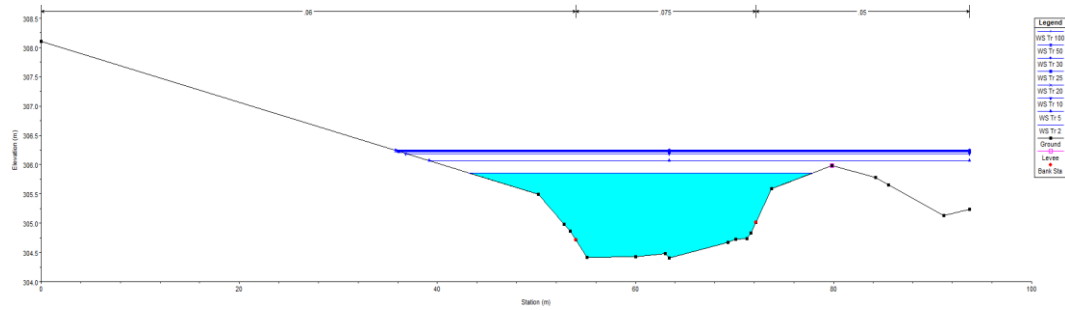
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 122. Sección transversal estación 0+324,33



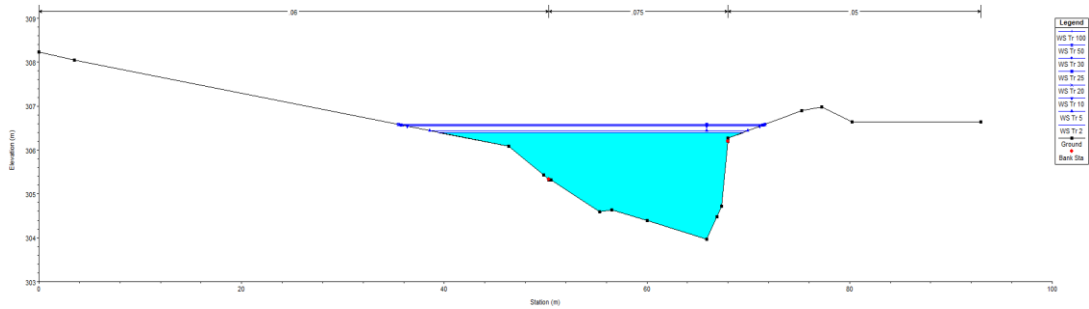
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 123. Sección transversal estación 0+340,00



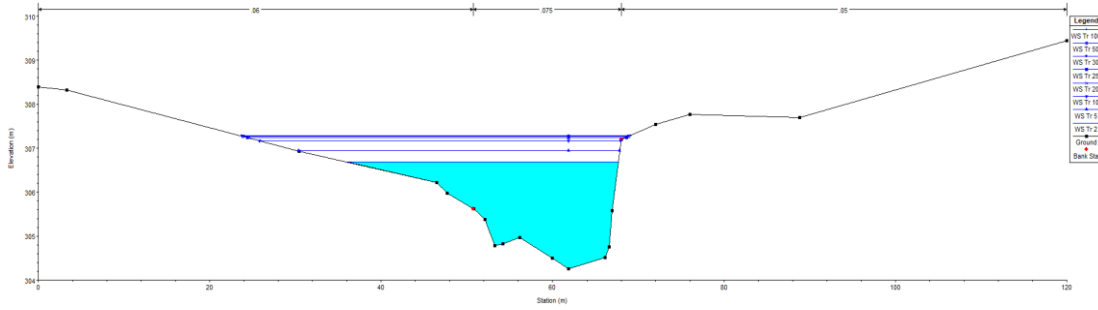
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 124. Sección transversal estación 0+360,00



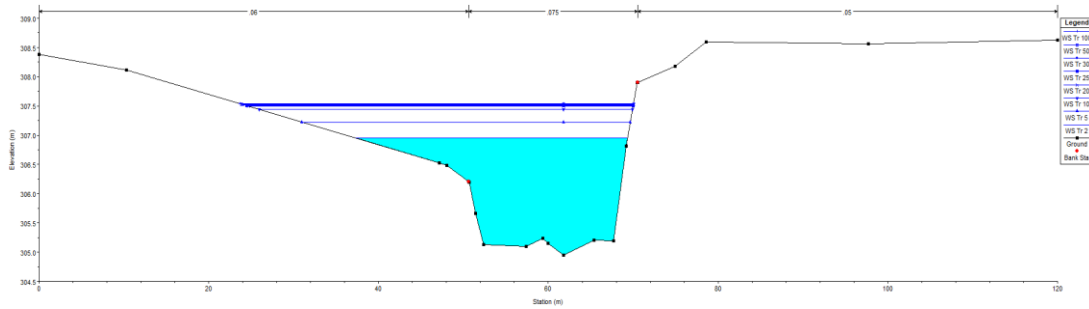
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 125. Sección transversal estación 0+380,00



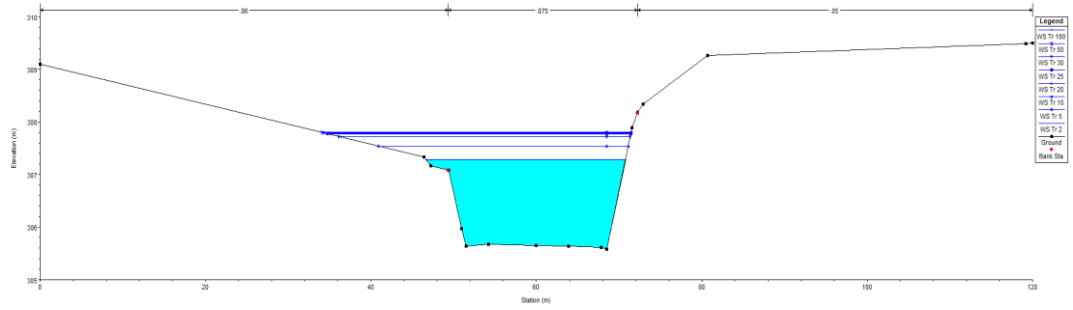
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 126. Sección transversal estación 0+400,00



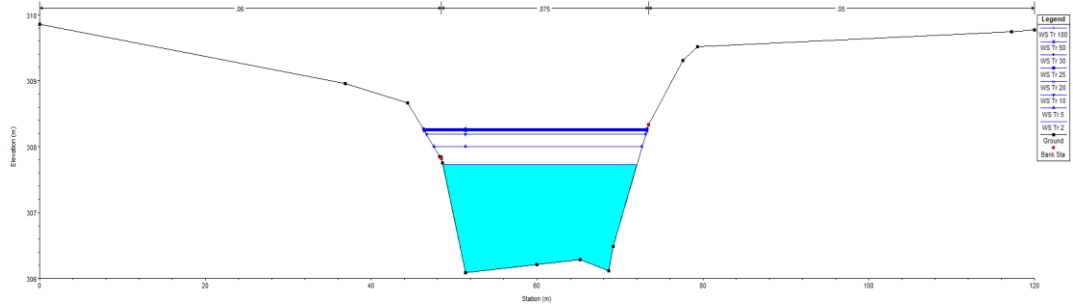
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 127. Sección transversal estación 0+420,00



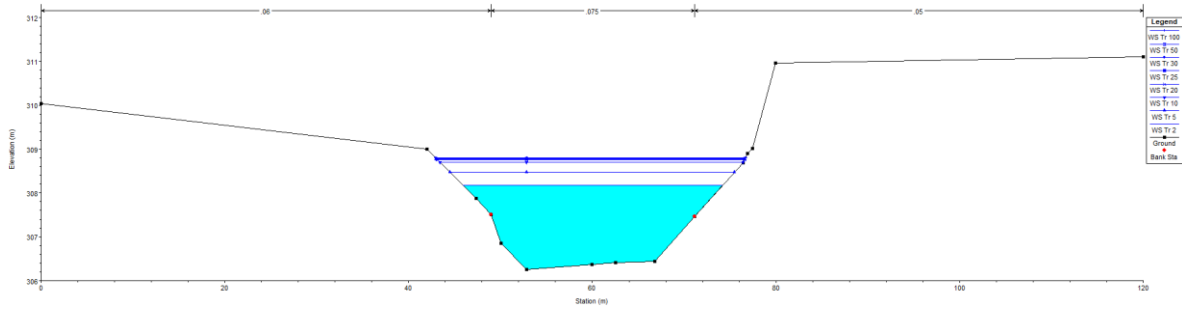
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 128. Sección transversal estación 0+440,00



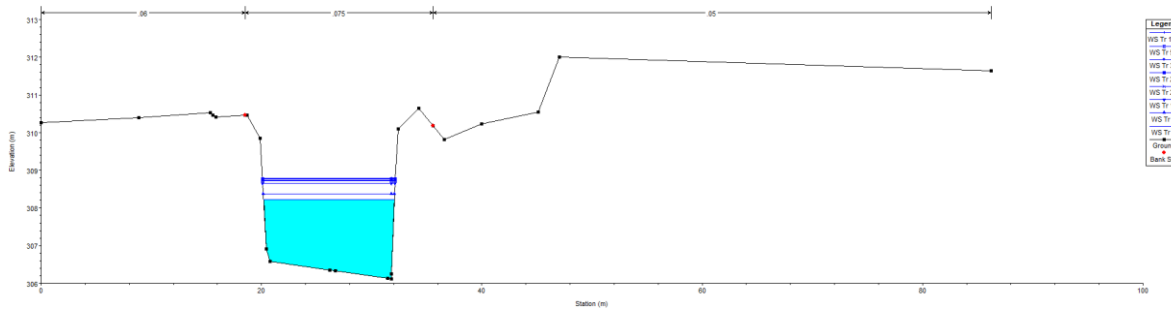
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 129. Sección transversal estación 0+460,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

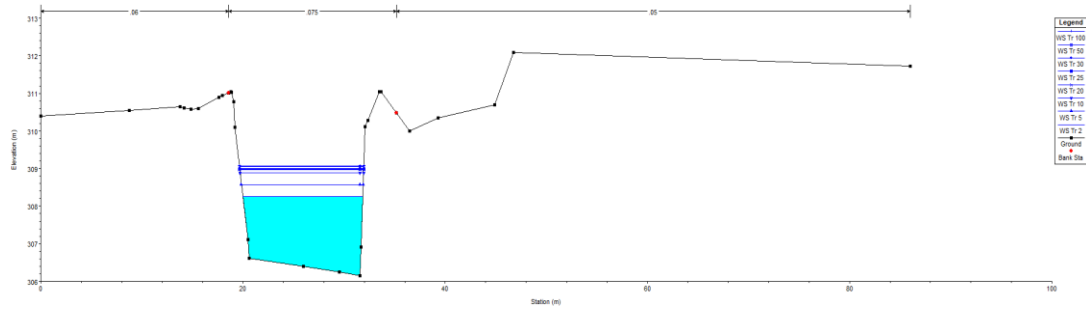
### Apéndice 130. Sección transversal estación 0+476,42



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

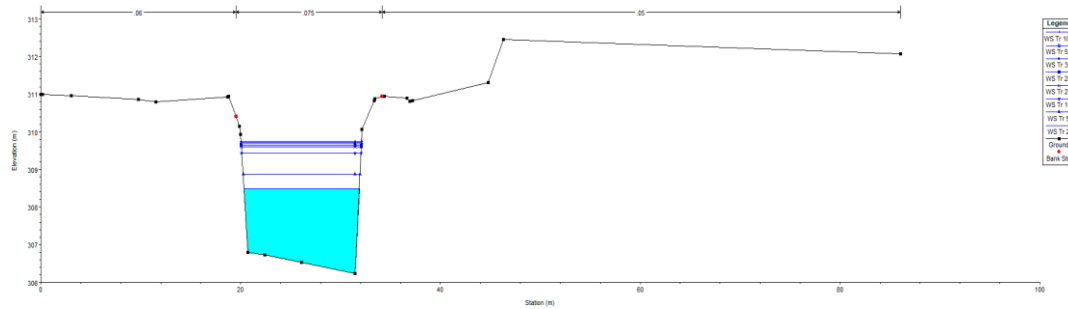


### Apéndice 131. Sección transversal estación 0+477,51



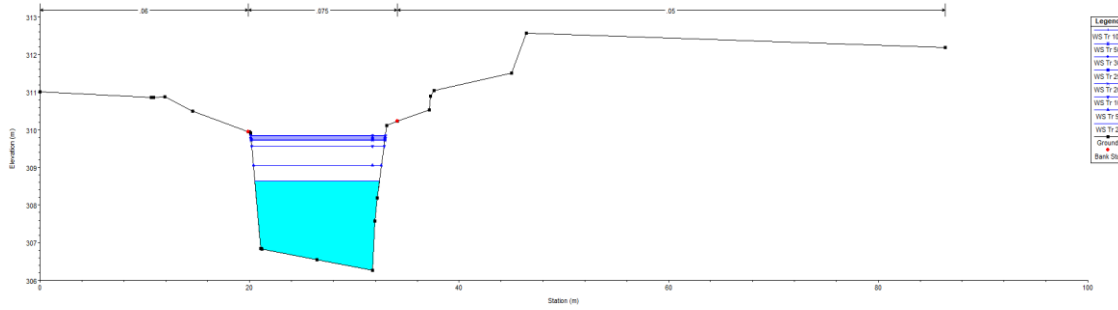
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 132. Sección transversal estación 0+481,96



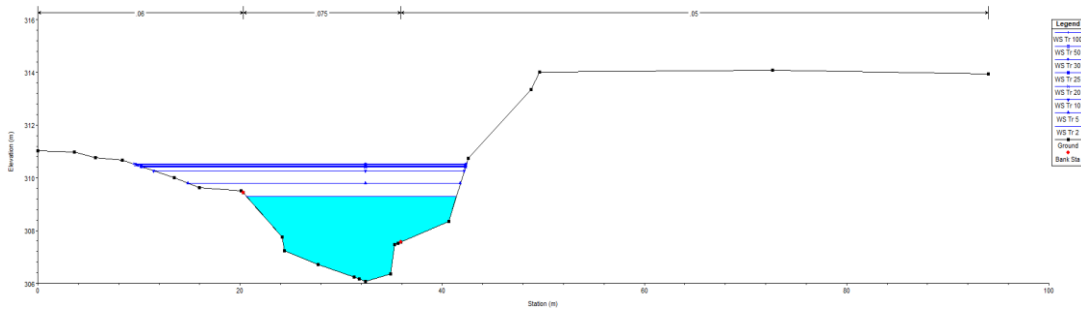
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 133. Sección transversal estación 0+483,38



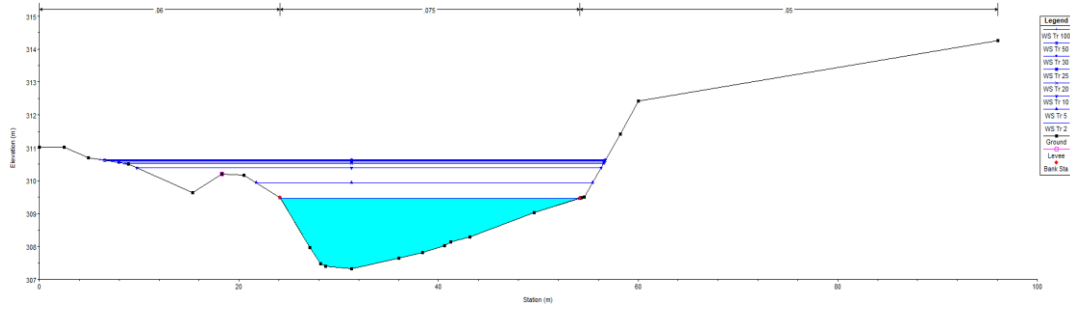
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 134. Sección transversal estación 0+501,16



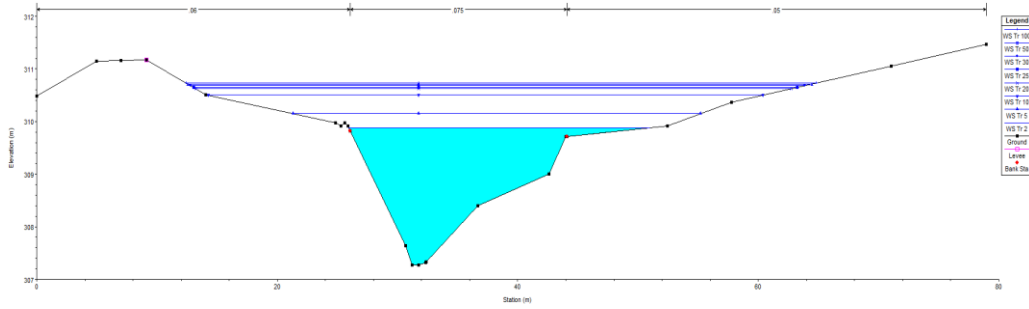
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 135. Sección transversal estación 0+516,64



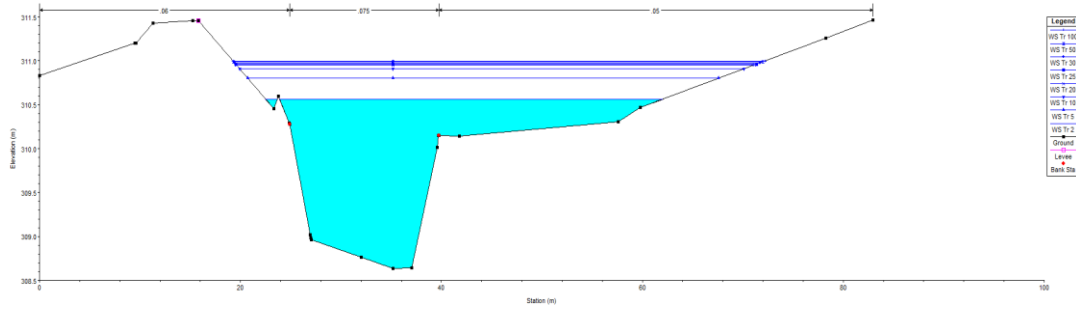
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 136. Sección transversal estación 0+540,00



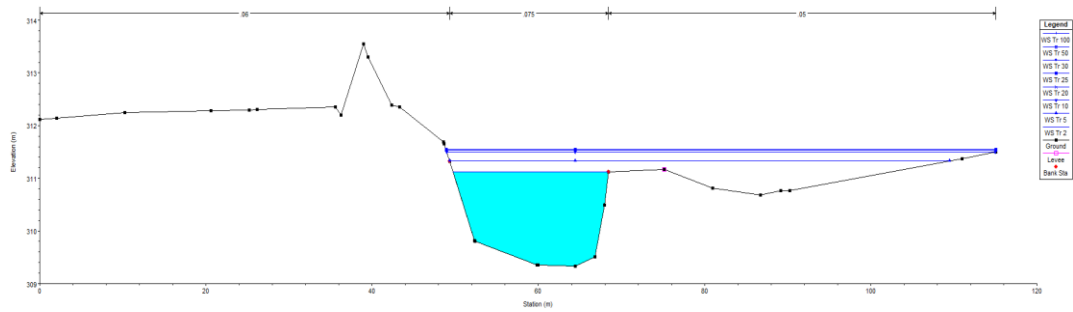
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 137. Sección transversal estación 0+560,00



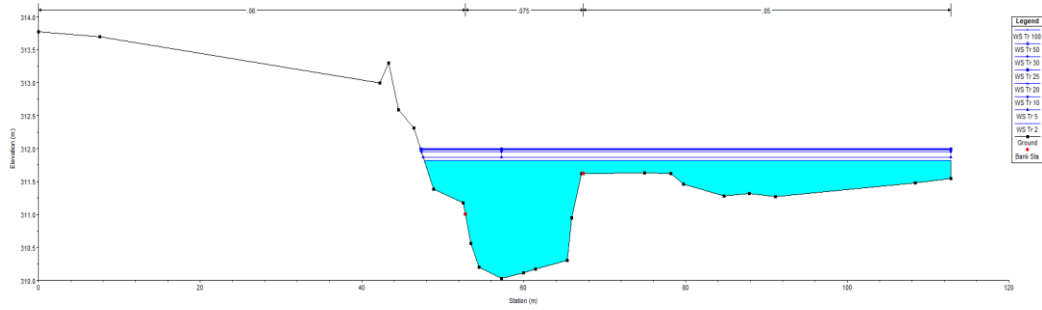
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 138. Sección transversal estación 0+580,00



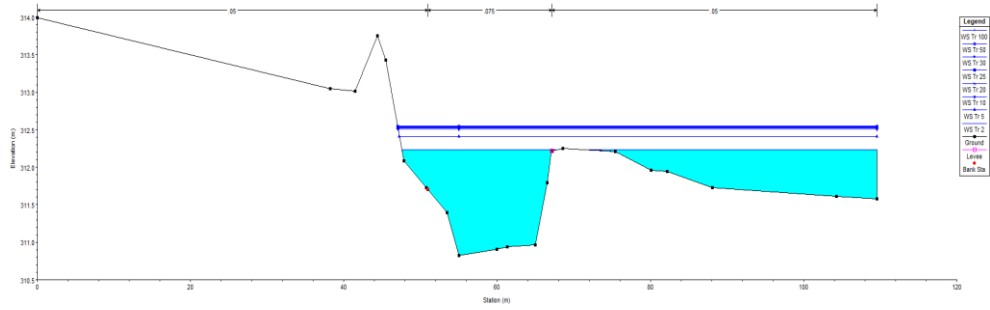
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 139. Sección transversal estación 0+600,00



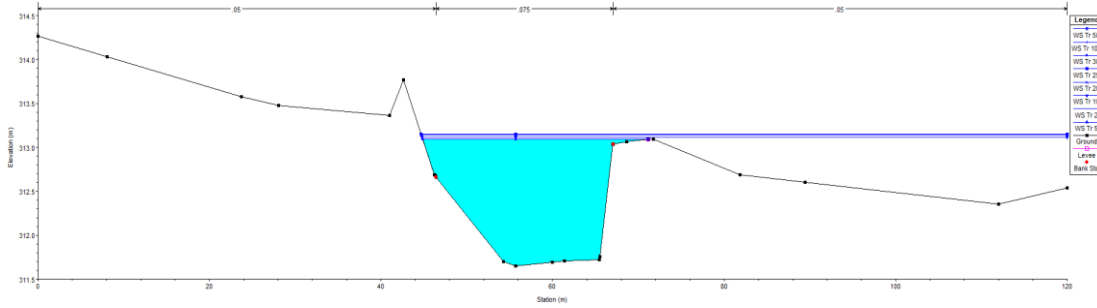
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 140. Sección transversal estación 0+620,00



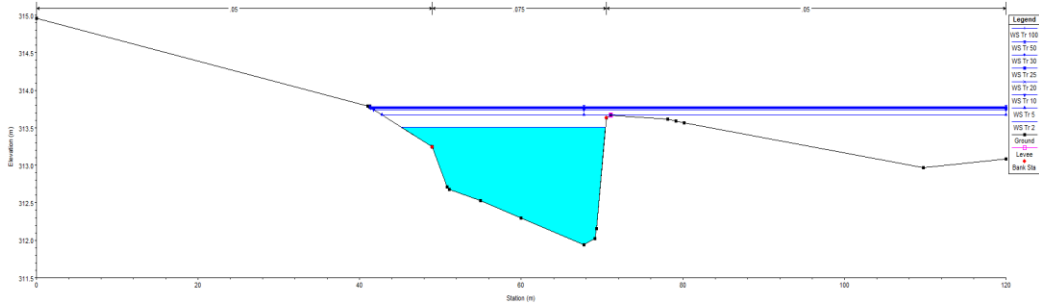
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 141. Sección transversal estación 0+640,00



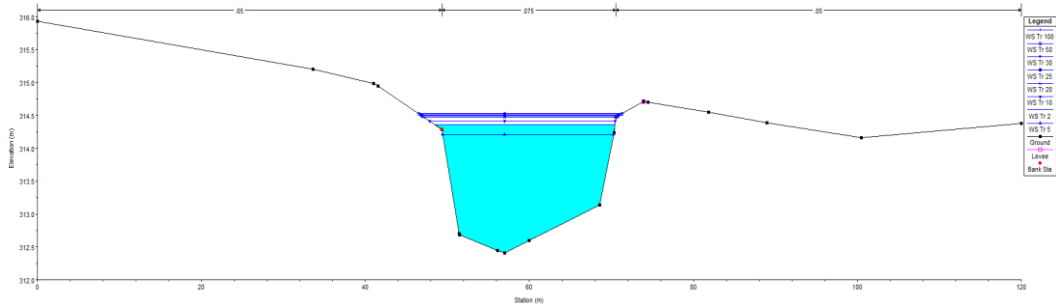
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 142. Sección transversal estación 0+660,00



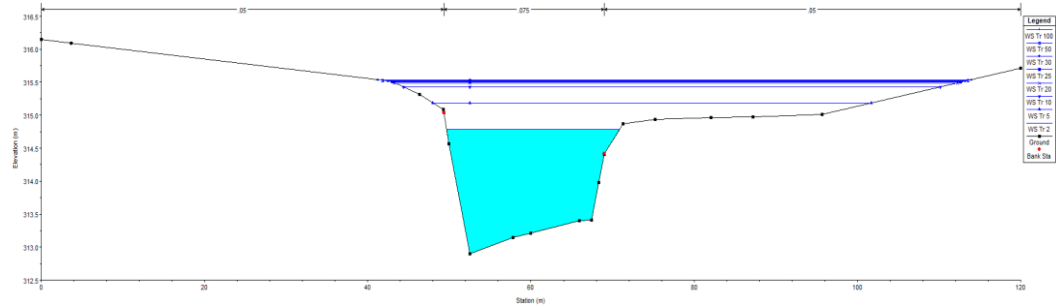
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 143. Sección transversal estación 0+680,00



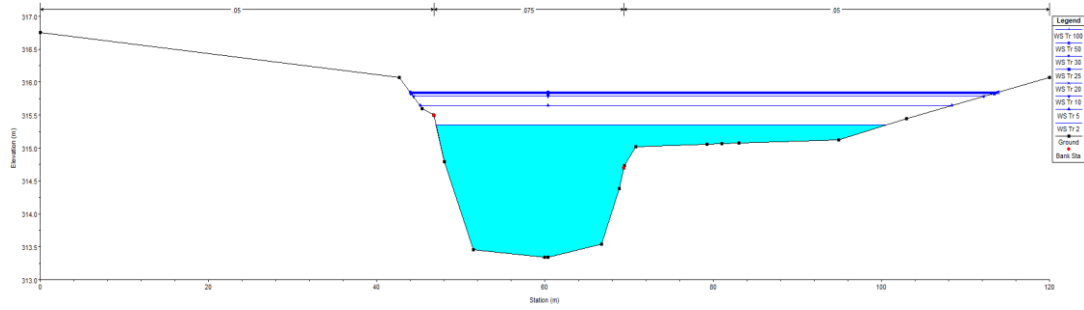
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 144. Sección transversal estación 0+700,00



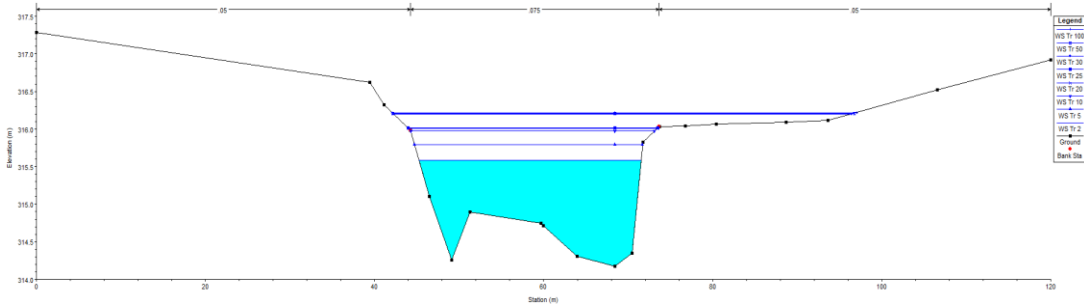
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 145. Sección transversal estación 0+720,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

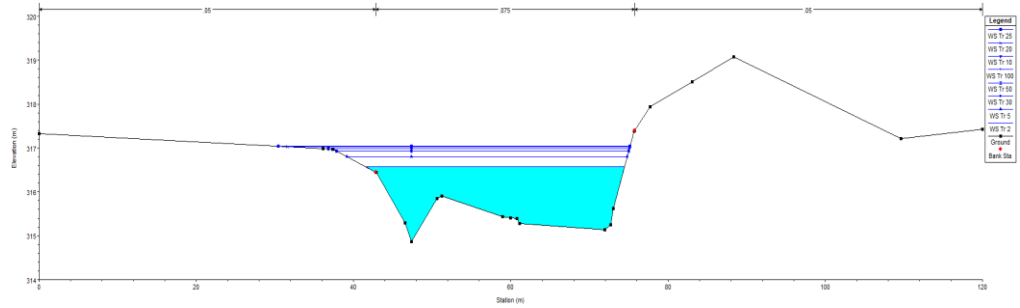
### Apéndice 146. Sección transversal estación 0+740,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

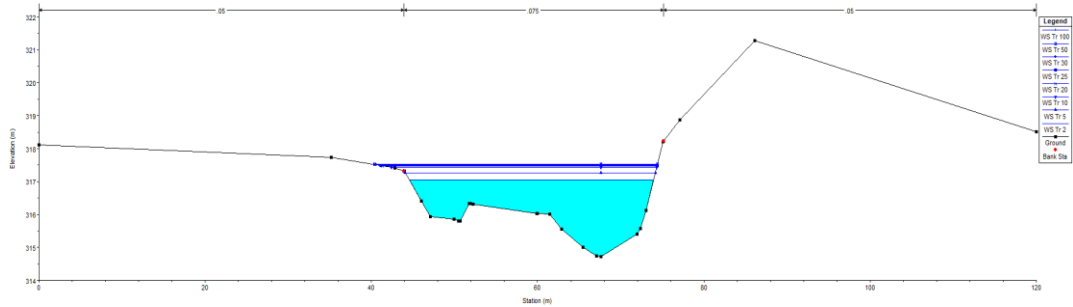


### Apéndice 147. Sección transversal estación 0+760,00



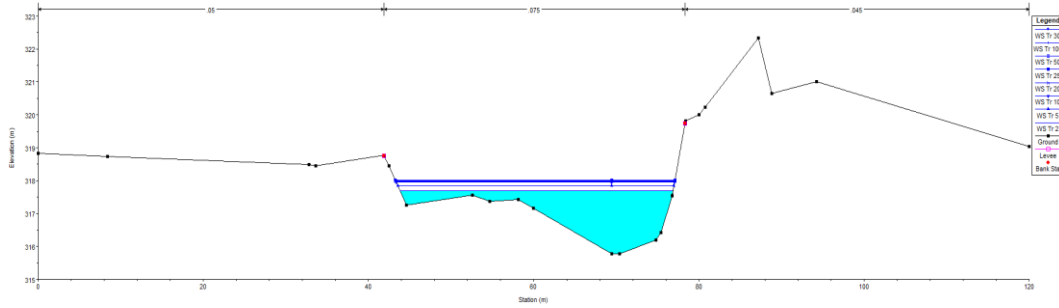
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 148. Sección transversal estación 0+780,00



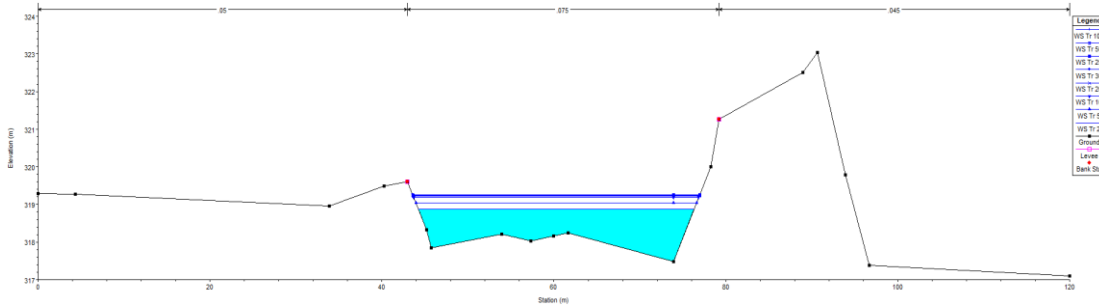
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 149. Sección transversal estación 0+800,00



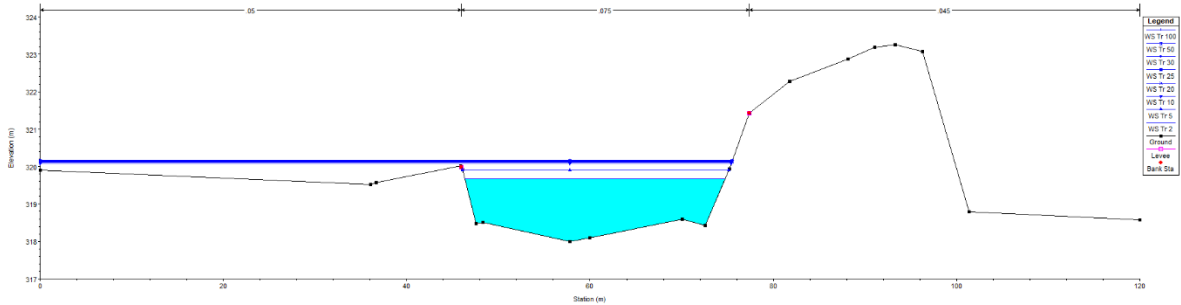
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 150. Sección transversal estación 0+820,00



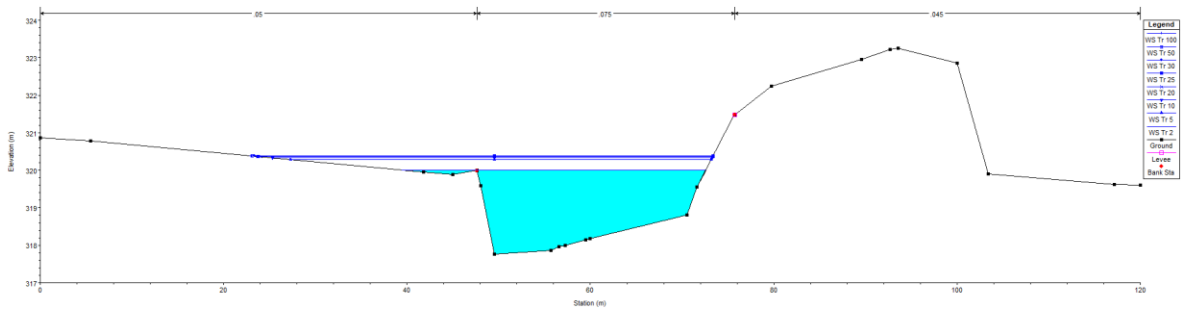
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 151. Sección transversal estación 0+840,00



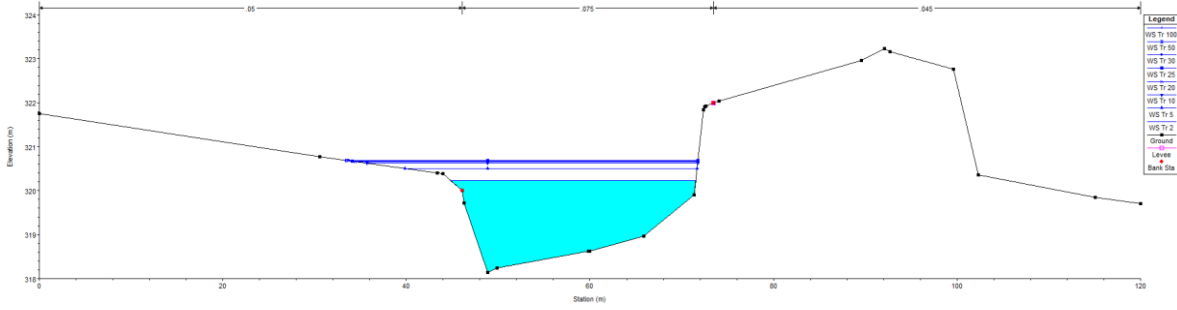
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 152. Sección transversal estación 0+860,00



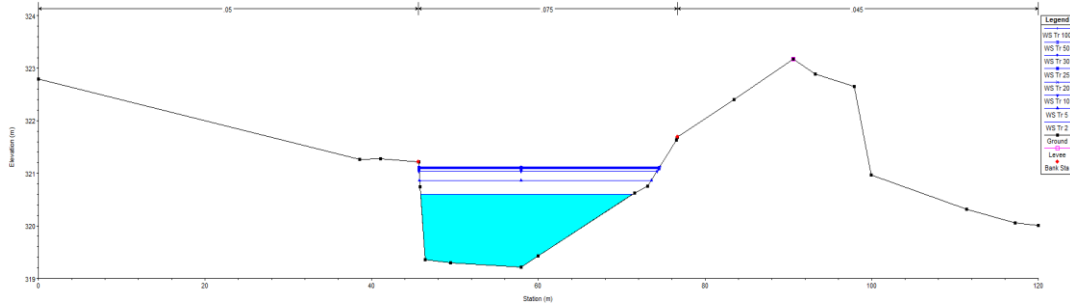
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 153. Sección transversal estación 0+880,00



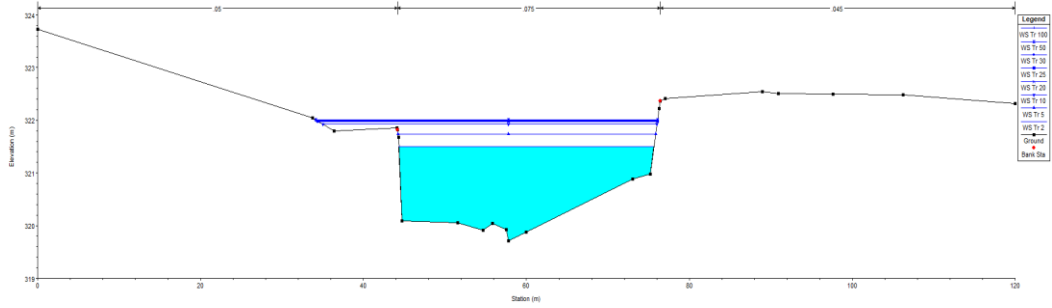
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 154. Sección transversal estación 0+900,00



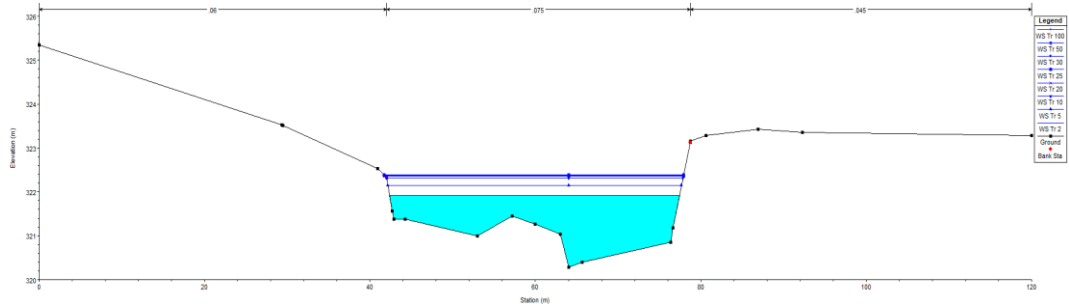
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 155. Sección transversal estación 0+920,00



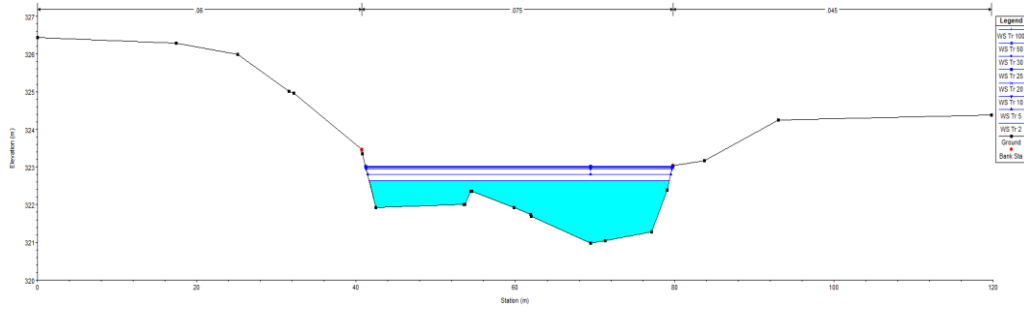
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 156. Sección transversal estación 0+940,00



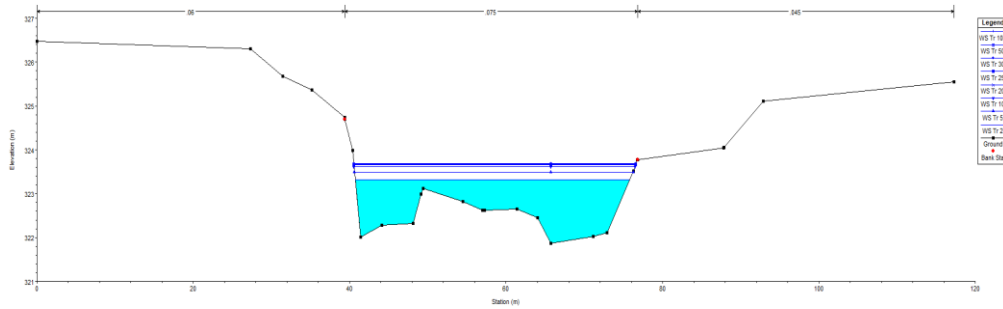
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 157. Sección transversal estación 0+960,00



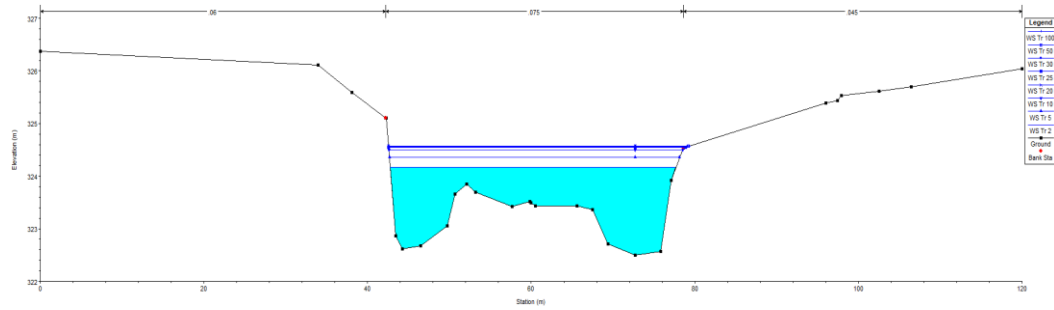
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 158. Sección transversal estación 0+980,00



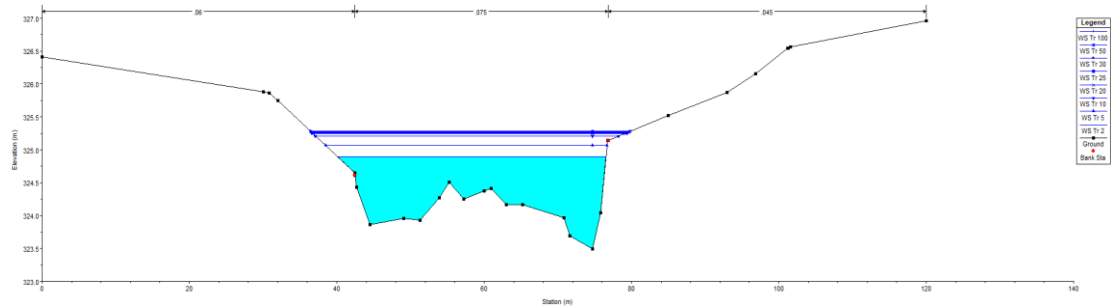
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 159. Sección transversal estación 1+000,00



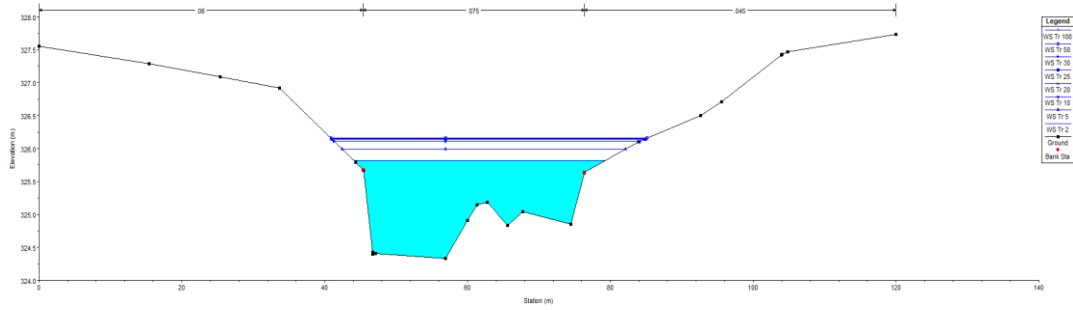
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 160. Sección transversal estación 1+020,00



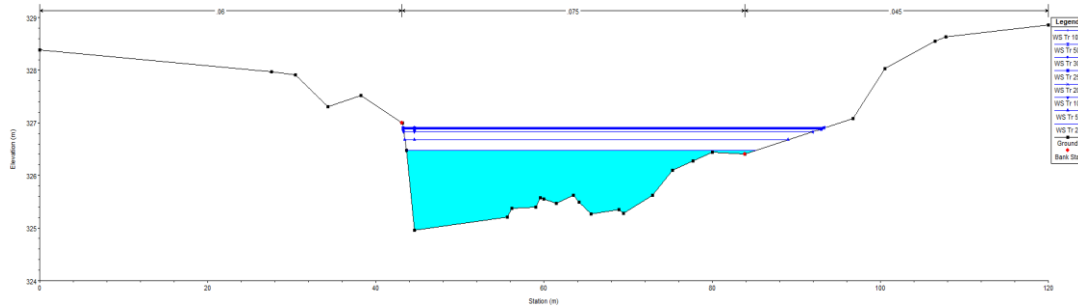
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 161. Sección transversal estación 1+040,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

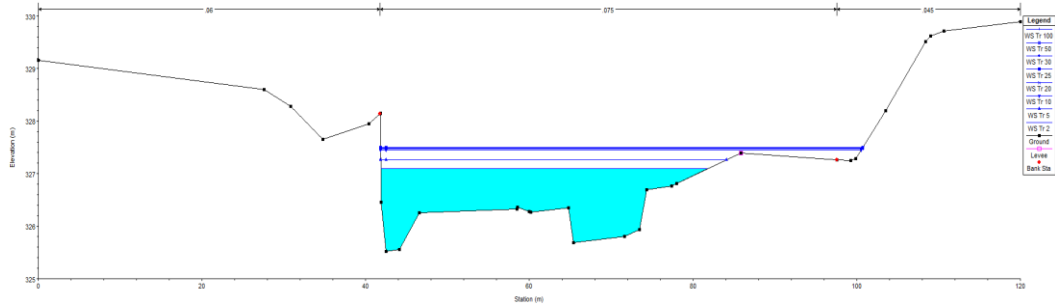
### Apéndice 162. Sección transversal estación 1+060,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

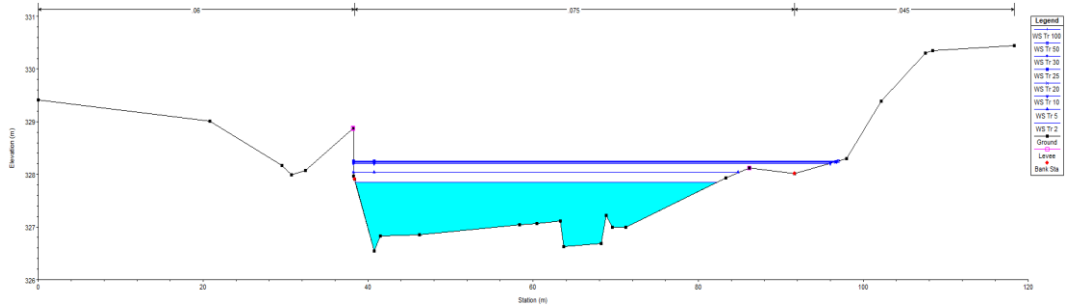


### Apéndice 163. Sección transversal estación 1+080,00



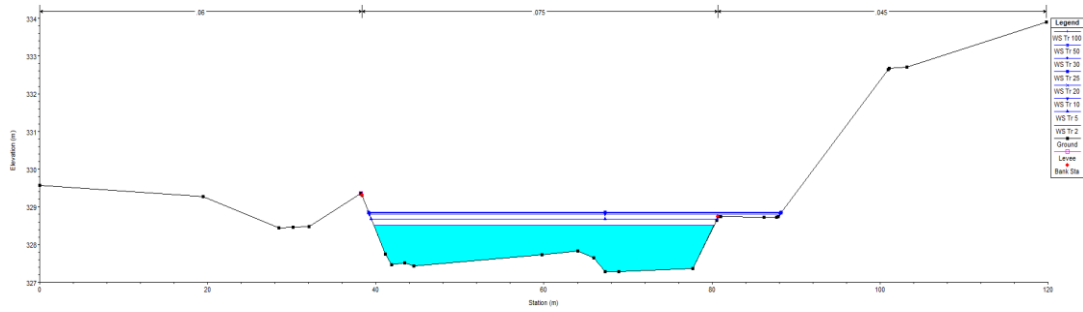
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 164. Sección transversal estación 1+100,00



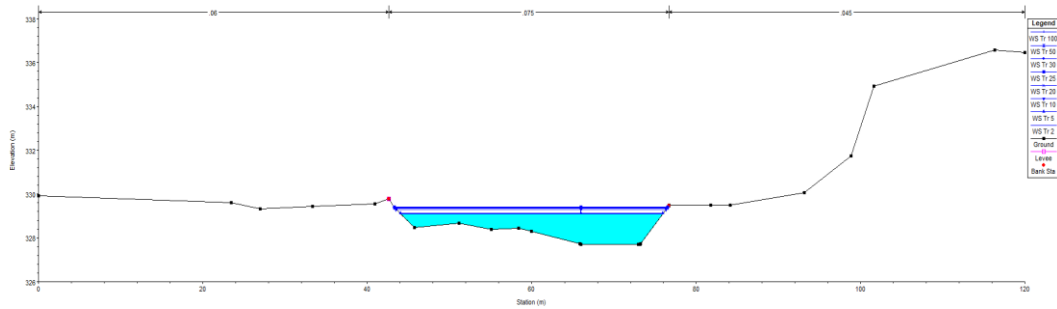
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 165. Sección transversal estación 1+120,00



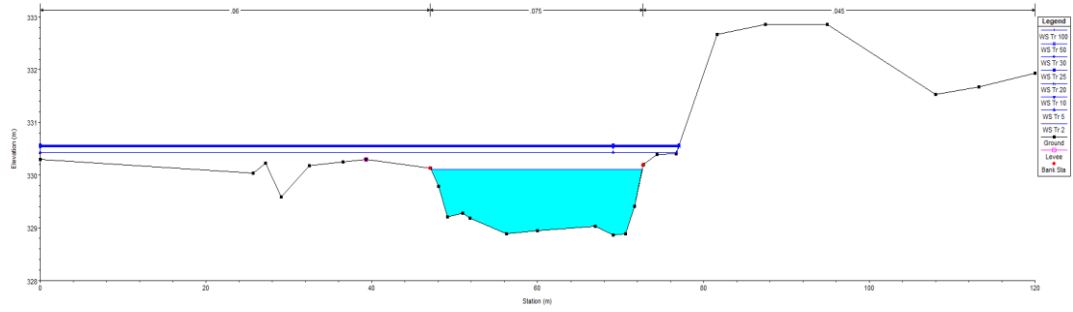
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 166. Sección transversal estación 1+140,00



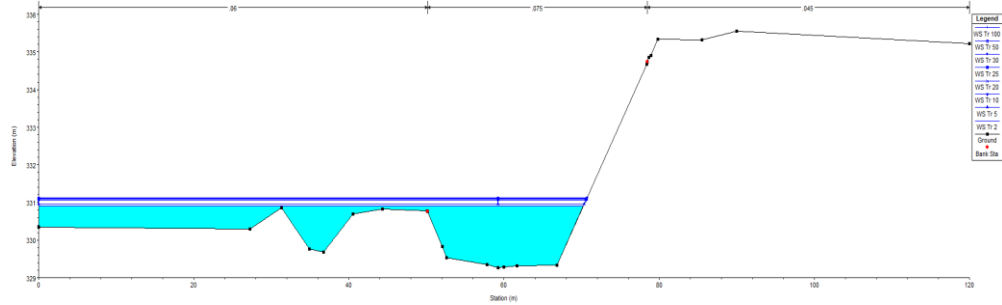
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 167. Sección transversal estación 1+160,00



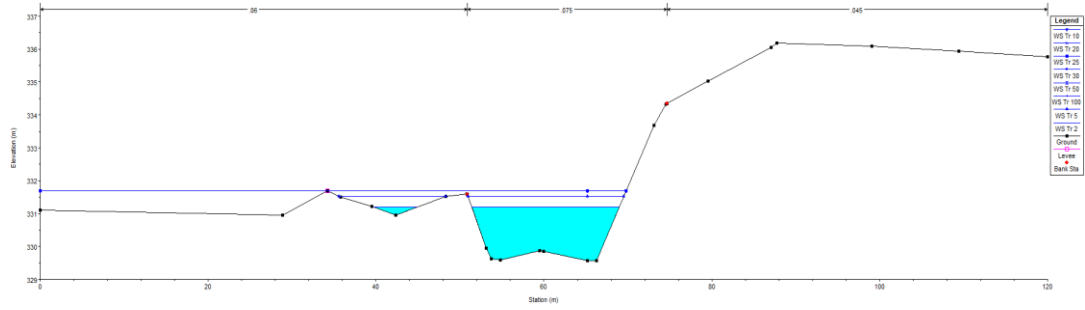
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 168. Sección transversal estación 1+180,00



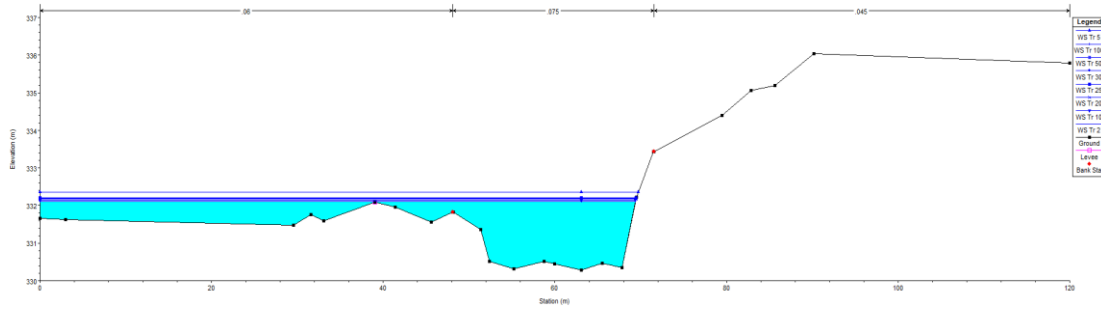
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 169. Sección transversal estación 1+200,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

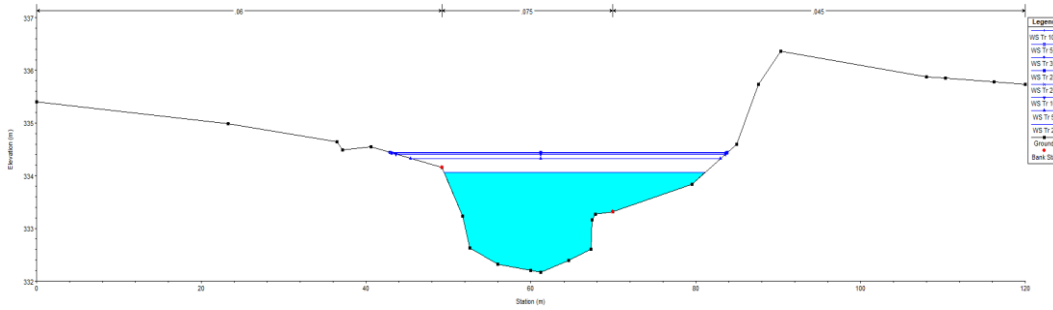
### Apéndice 170. Sección transversal estación 1+220,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

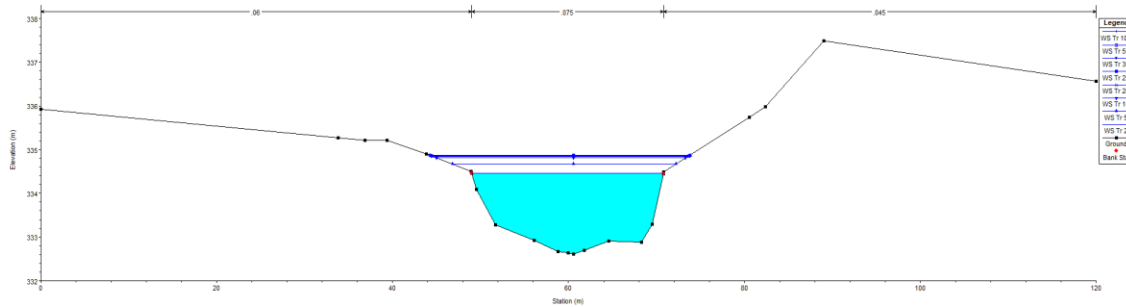


### Apéndice 173. Sección transversal estación 1+280,00



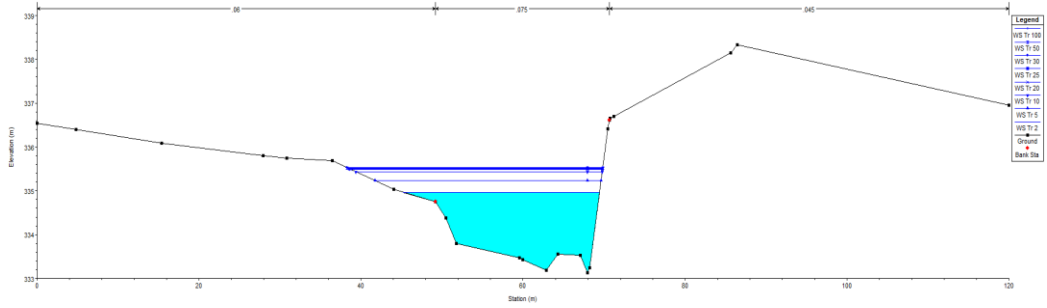
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 174. Sección transversal estación 1+300,00



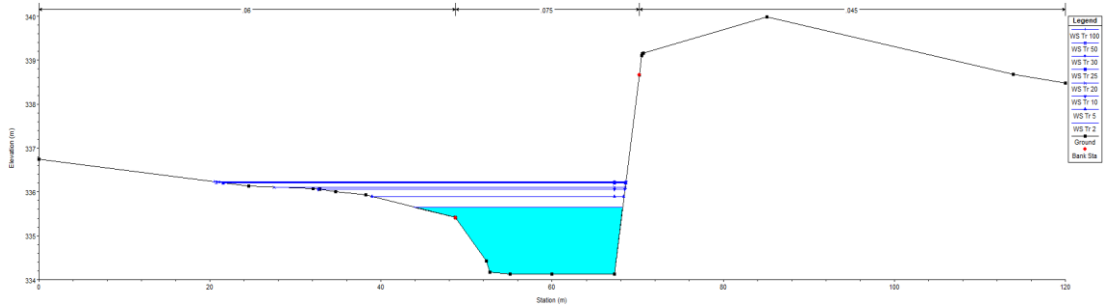
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 175. Sección transversal estación 1+320,00



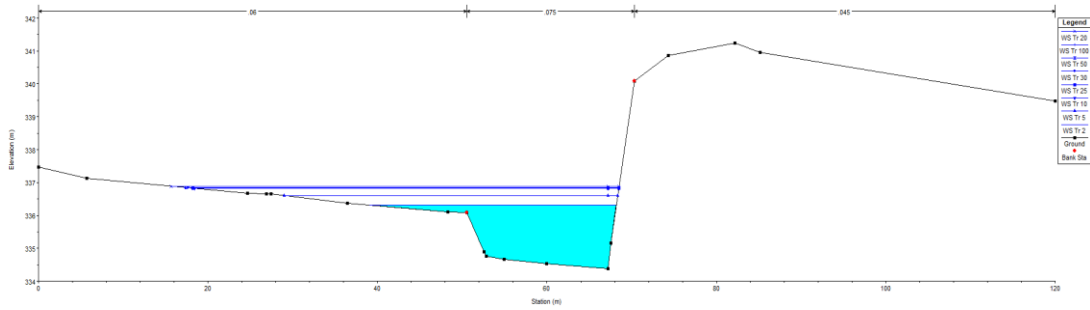
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 176. Sección transversal estación 1+340,00



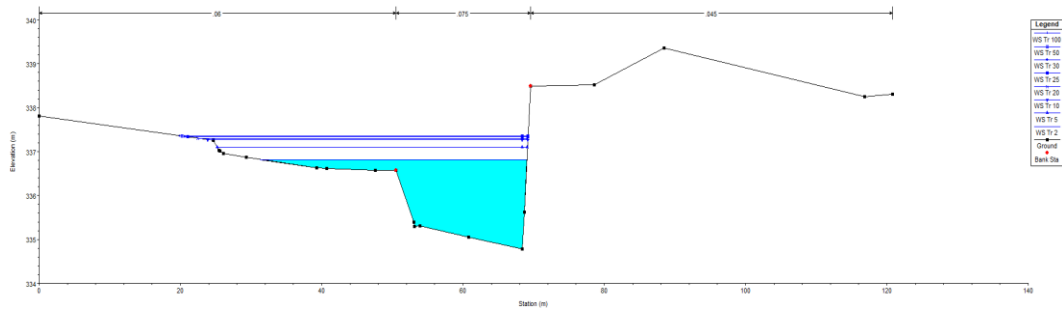
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 177. Sección transversal estación 1+360,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

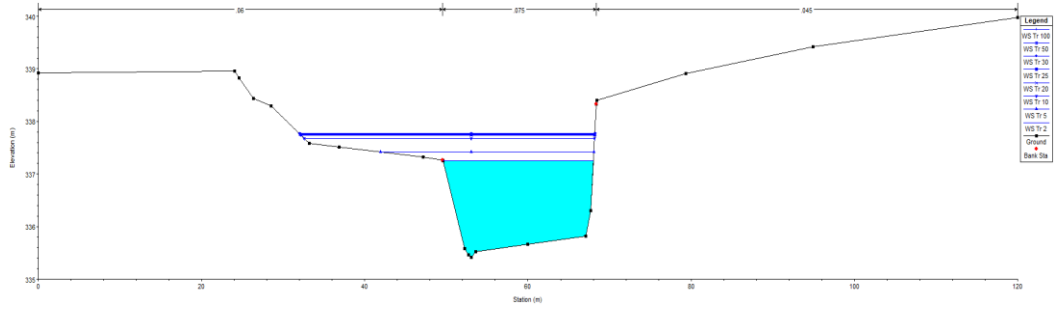
### Apéndice 178. Sección transversal estación 1+380,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

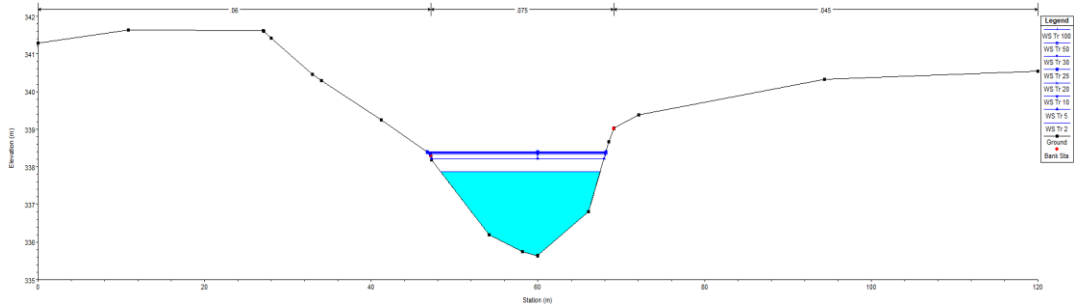


### Apéndice 179. Sección transversal estación 1+400,00



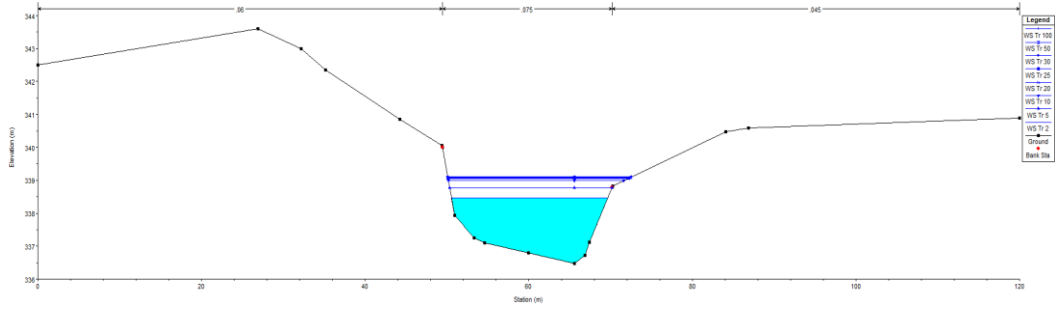
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 180. Sección transversal estación 1+420,00



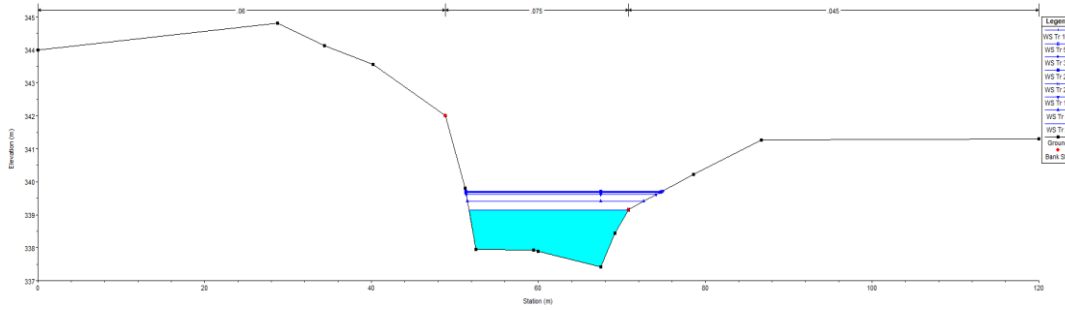
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 181. Sección transversal estación 1+440,00



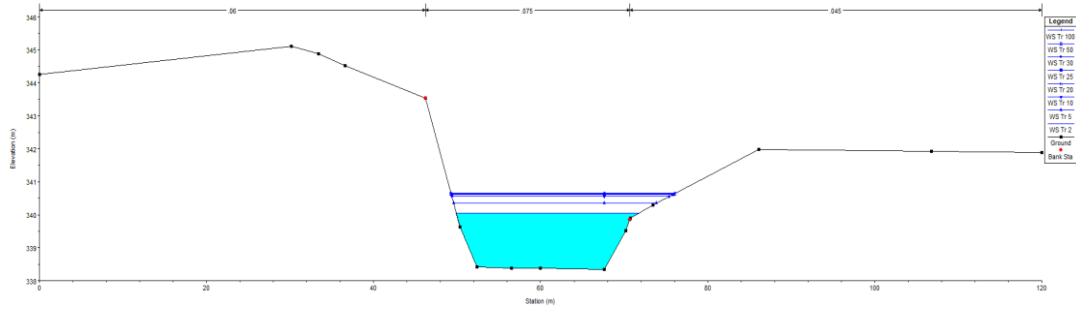
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 182. Sección transversal estación 1+460,00



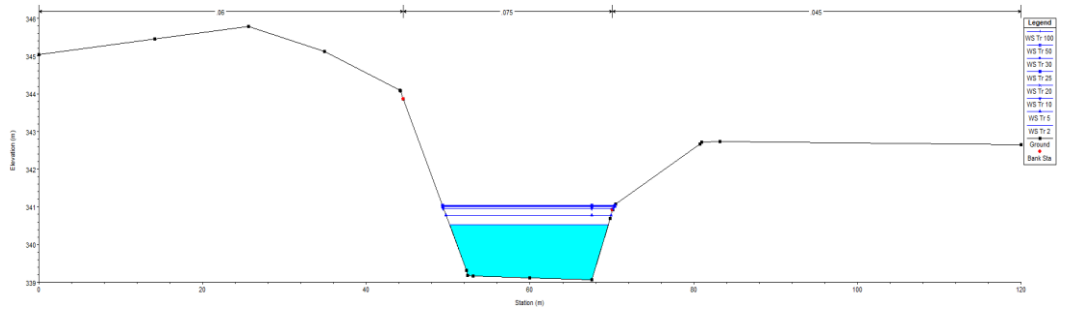
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 183. Sección transversal estación 1+480,00



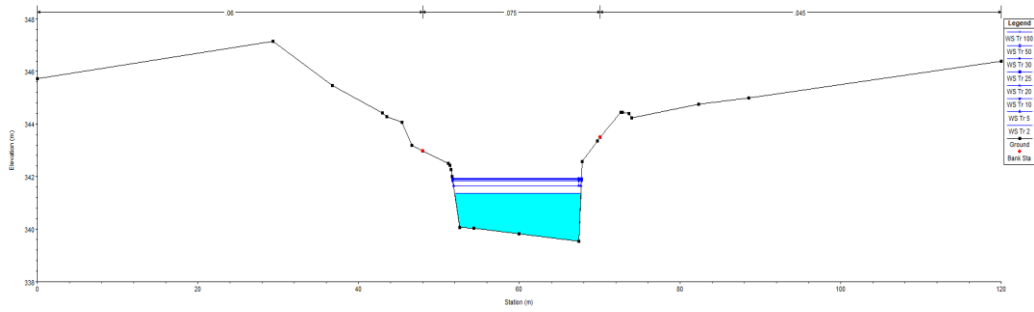
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 184. Sección transversal estación 1+500,00



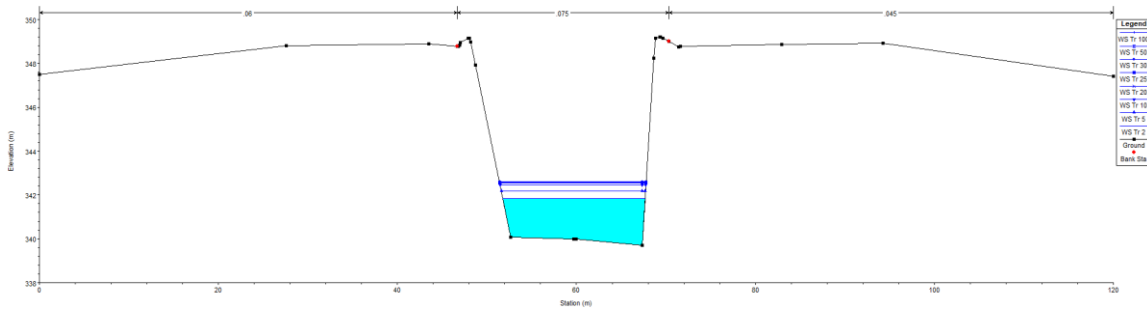
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 185. Sección transversal estación 1+520,00



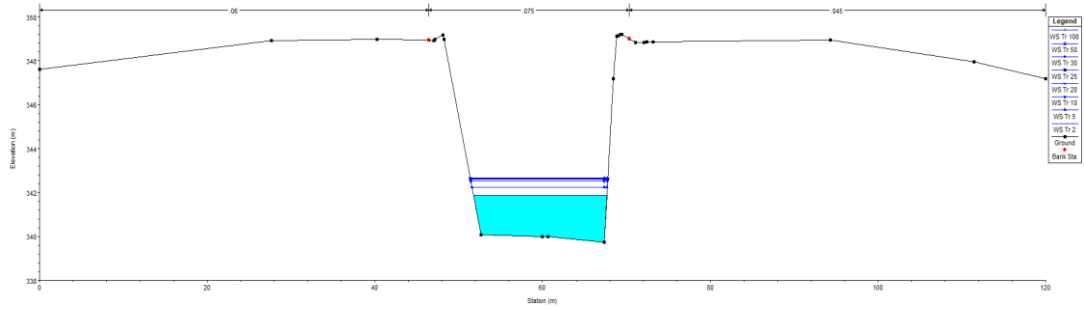
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 186. Sección transversal estación 1+528,73



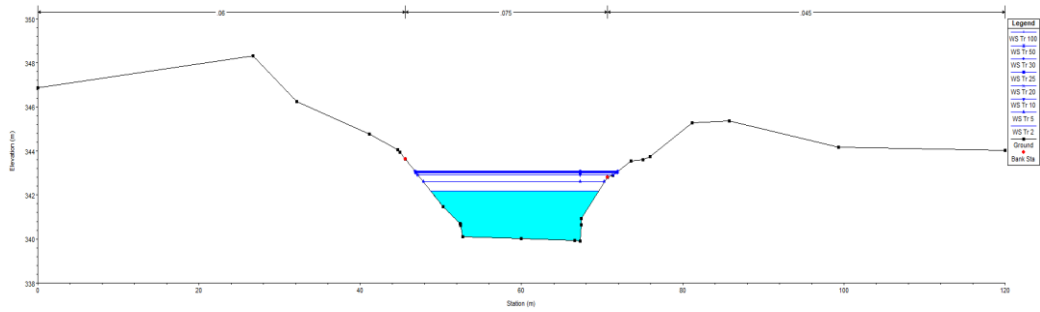
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 187. Sección transversal estación 1+530,29



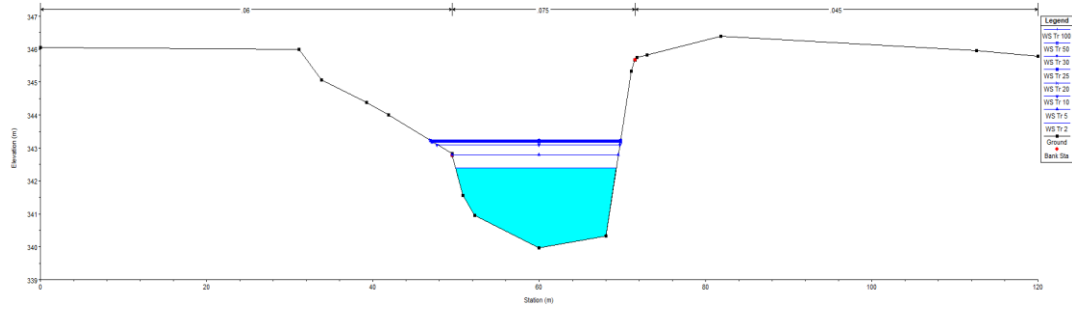
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 188. Sección transversal estación 1+540,00



Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

### Apéndice 189. Sección transversal estación 1+556,74



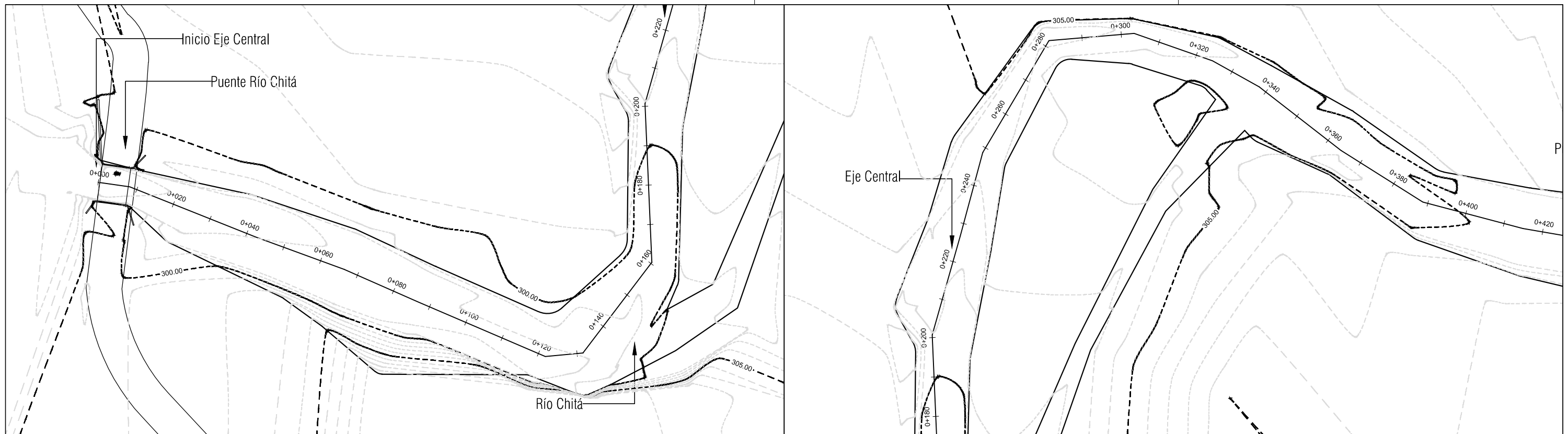
Fuente: elaboración propia, utilizando HEC-RAS.

Apéndice 190. **Juego de planos del levantamiento topográfico y  
propuesta de obras de protección**

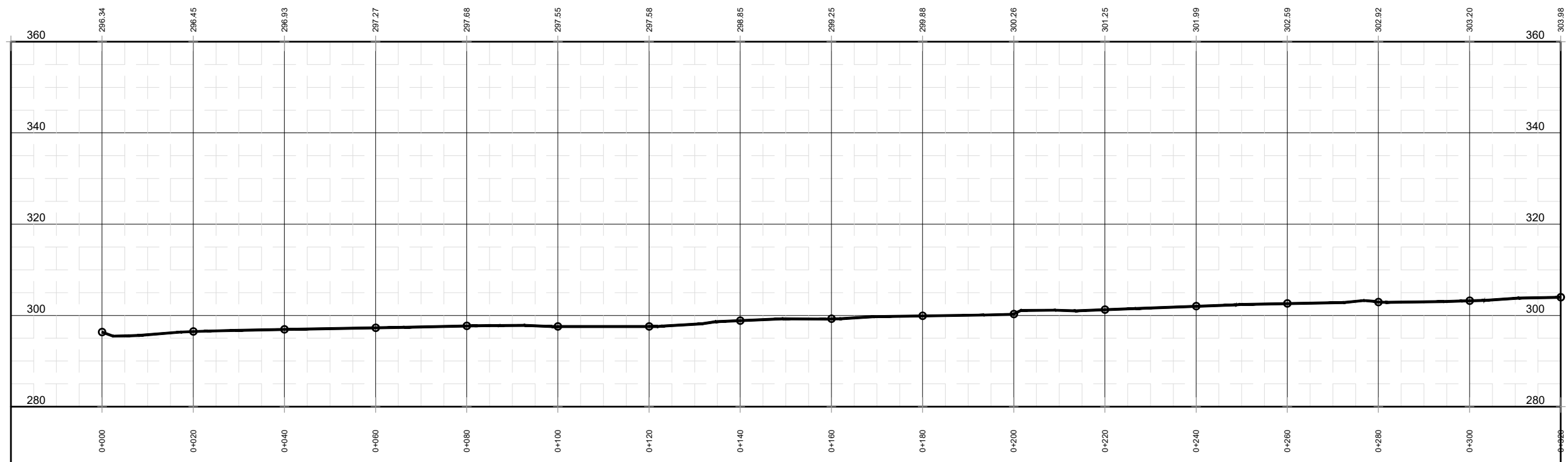
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D.







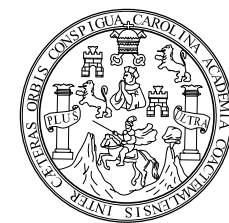
PERFIL DE EJE CENTRAL DEL RÍO CHITÁ



# Planta-Perfil de Eje Central

Est. 0+000.00 a 0+300.00

Esc. 1/1000



Proyecto: Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución: Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
Jorge Velásquez

Revisó:  
Ing. Claudio Castañón

Plano de:

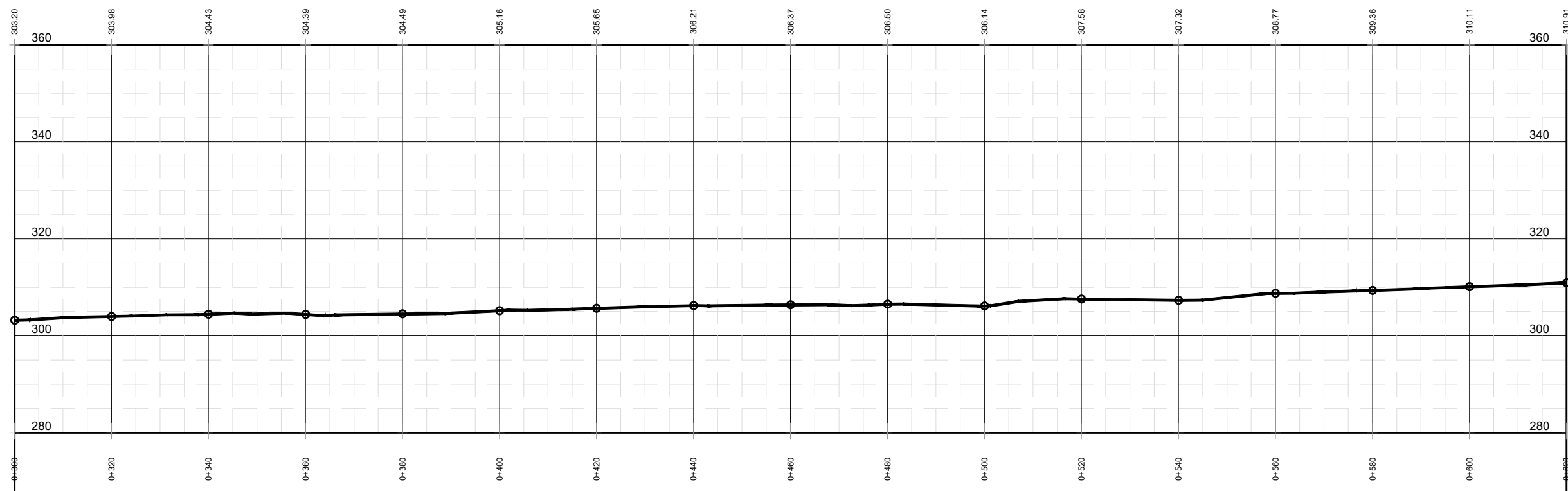
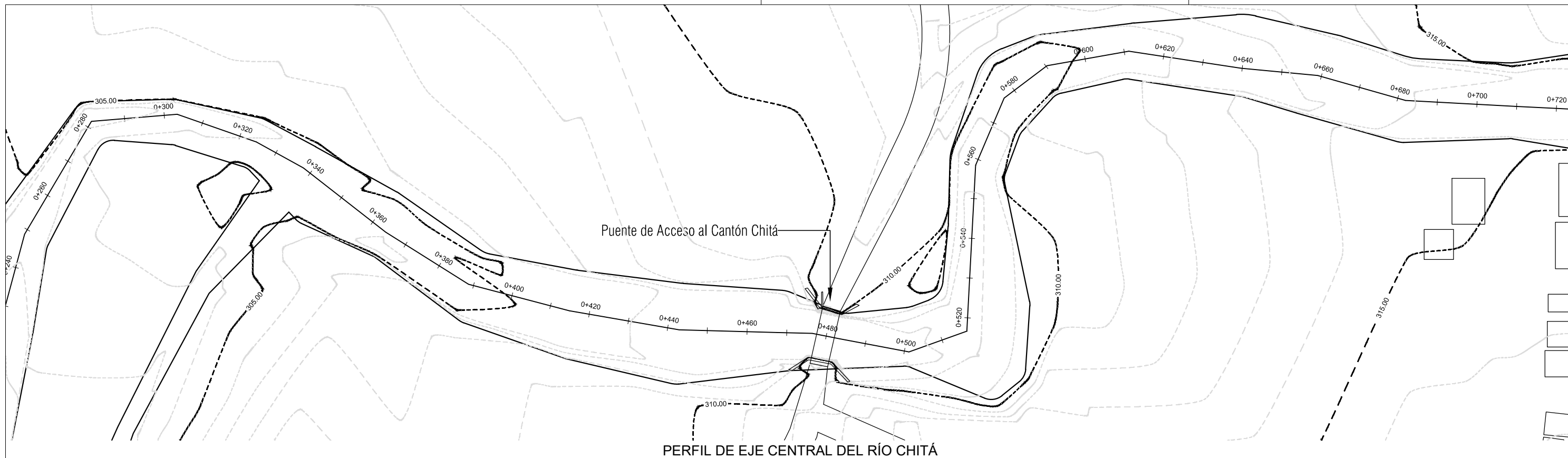
Planta-Perfil  
0+000.00 a 0+300.00

Fecha:  
Octubre 2020

Escala:  
Indicada

HOJA No.

01  
23



# Planta-Perfil de Eje Central

Est. 0+300.00 a 0+600.00

Esc. 1/1000



Proyecto : Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución : Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
Jorge Velásquez

Revisó:  
Ing. Claudio Castañón

Plano de:

Planta-Perfil  
0+300.00 a 0+600.00

Fecha:  
Octubre 2020

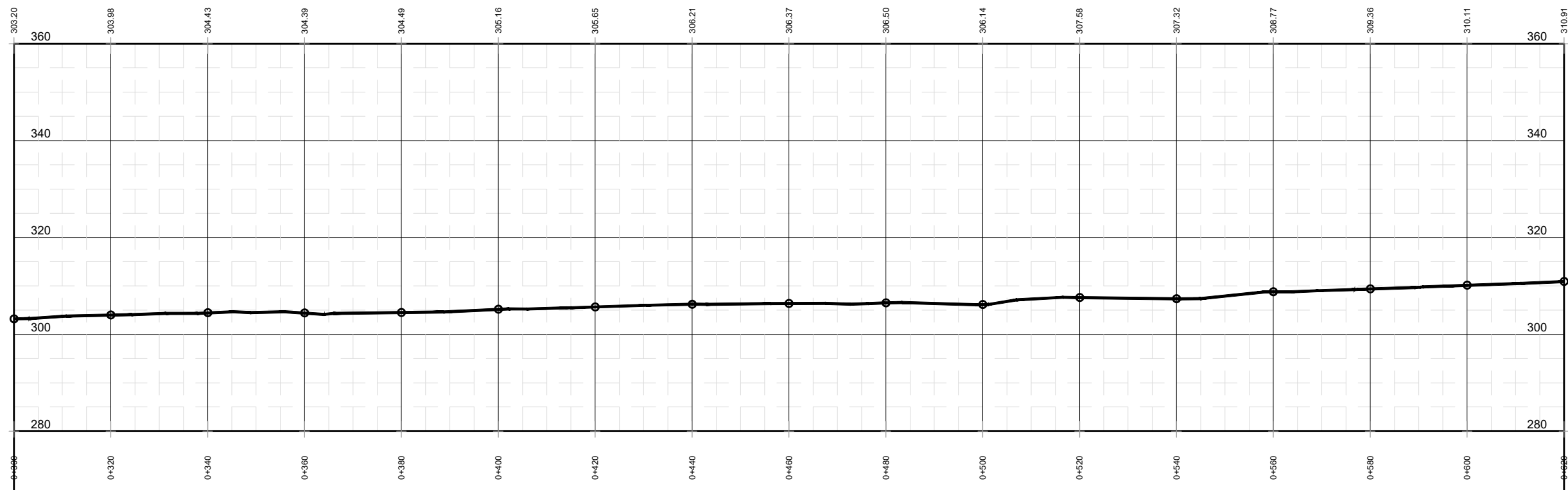
Escala:  
Indicada

HOJA No.

02  
23



PERFIL DE EJE CENTRAL DEL RÍO CHITÁ



# Planta-Perfil de Eje Central

Est. 0+600.00 a 0+900.00

Esc. 1/1000



Proyecto : Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución : Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
Jorge Velásquez

Revisó:  
Ing. Claudio Castañón

Plano de:

Planta-Perfil  
0+600.00 a 0+900.00

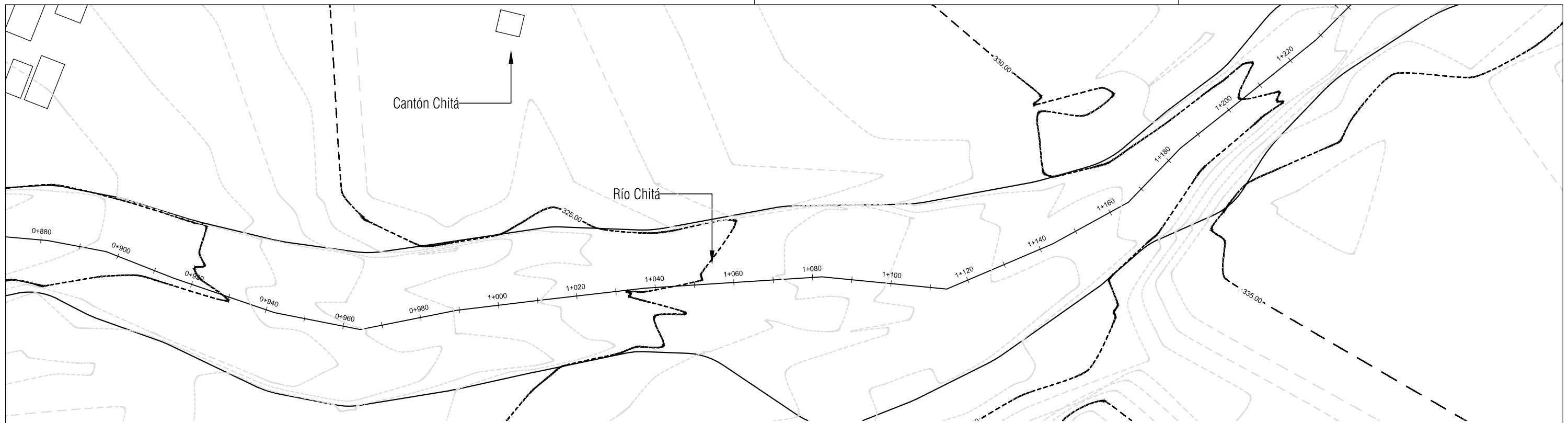
Fecha:  
Octubre 2020

Escala:  
Indicada

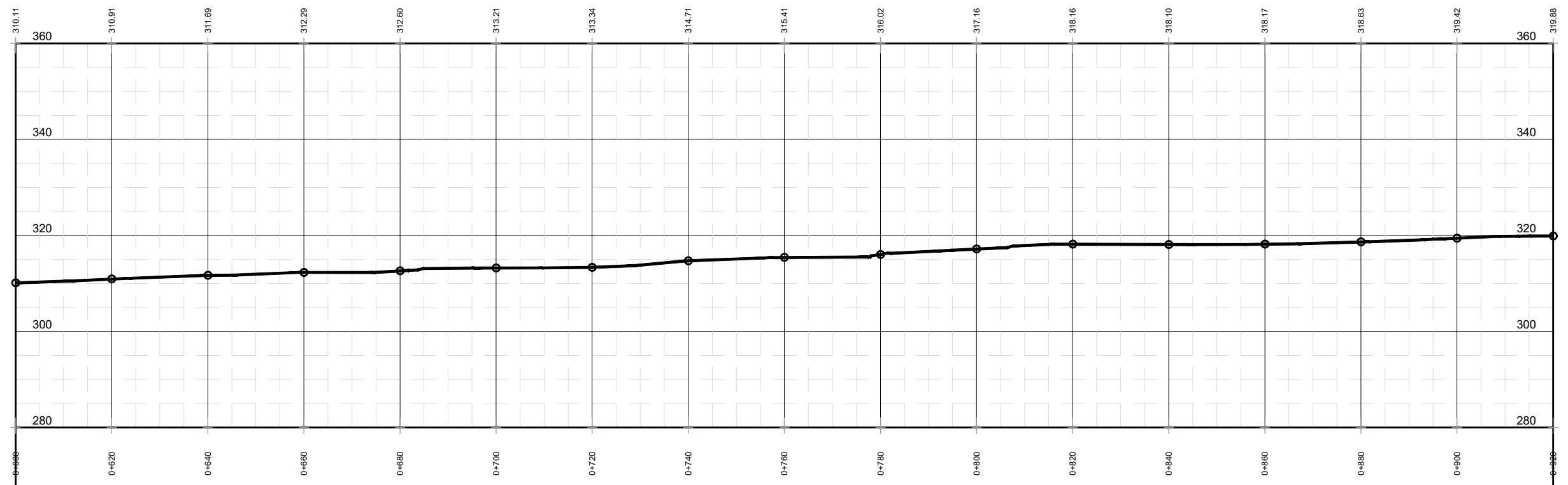
HOJA No.

03

23



PERFIL DE EJE CENTRAL DEL RÍO CHITÁ



# Planta-Perfil de Eje Central

Est. 0+900.00 a 1+200.00

Esc. 1/1000



Proyecto : Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución : Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
Jorge Velásquez

Revisó:  
Ing. Claudio Castañón

Plano de:

Planta-Perfil  
0+900.00 a 1+200.00

Fecha:  
Octubre 2020

Escala:  
Indicada

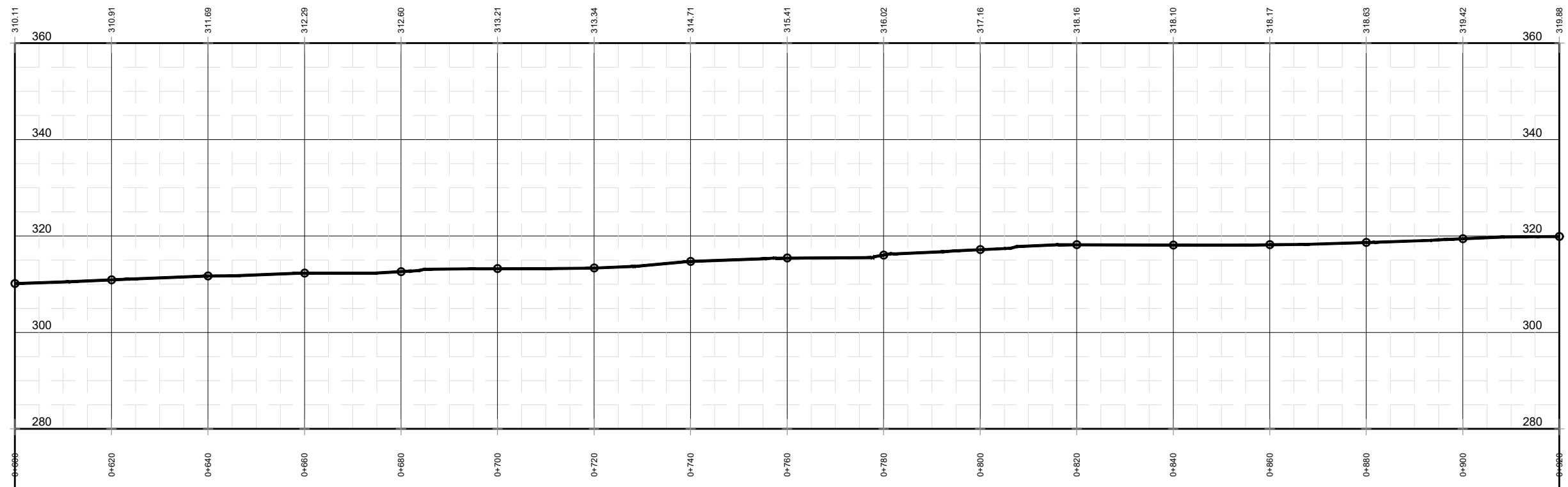
HOJA No.

04

23



PERFIL DE EJE CENTRAL DEL RÍO CHITÁ



# Planta-Perfil de Eje Central

Est. 1+200.00 a 1+556.74

Esc. 1/1000



Proyecto : Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución : Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo : Jorge Velásquez

Revisó : Ing. Claudio Castañón

Plano de:

Planta-Perfil  
1+200.00 a 1+556.74

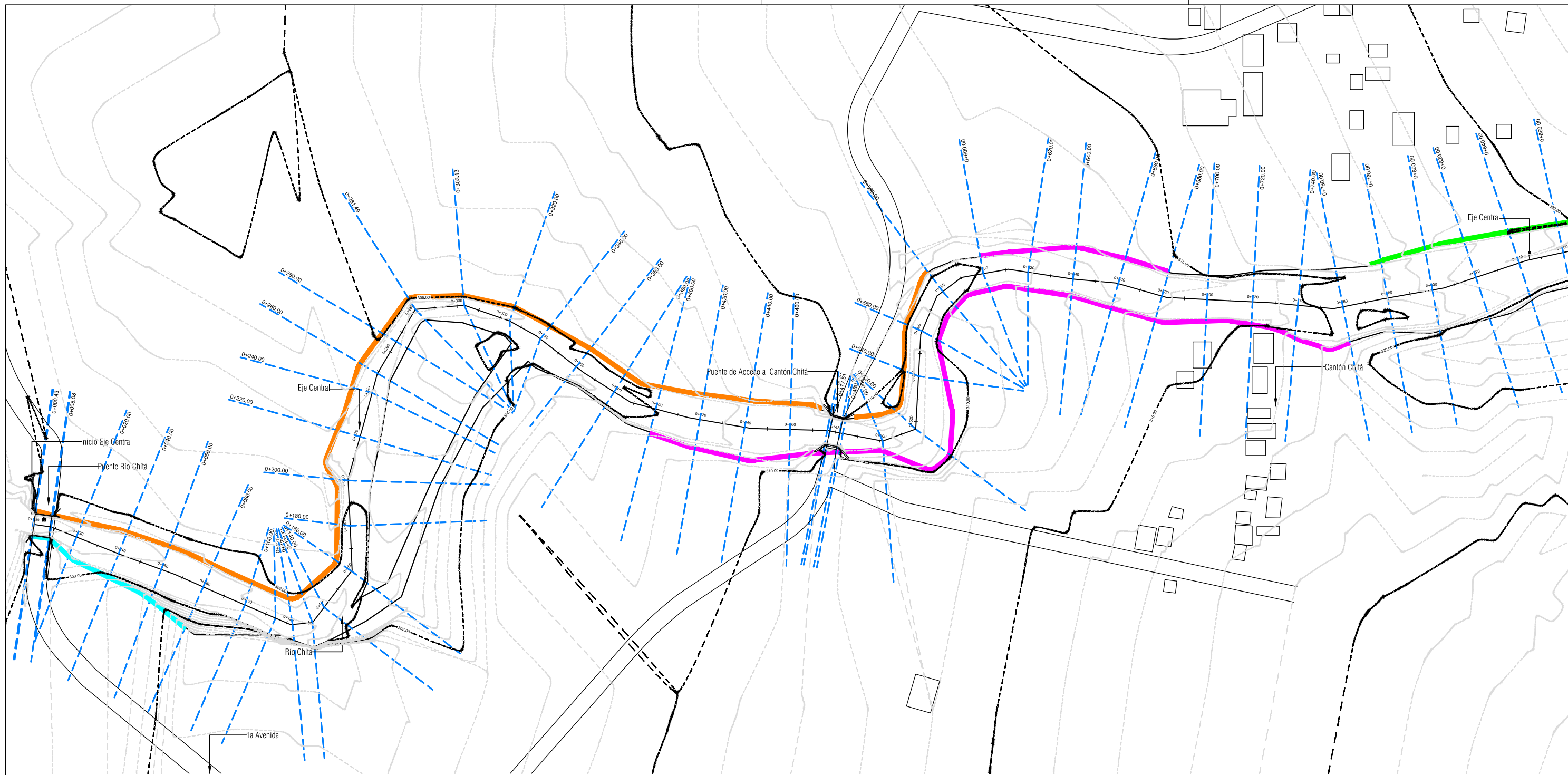
Fecha : Octubre 2020

Escala : Indicada

HOJA No.

05

23



# Planta Conjunto

Est. 0+000.00 a 0+860.00

Esc. 1/1750

DESCRIPCION	ESTACIONAMIENTO	COLOR
Tramo 1	0+000.00 a 0+080.00	<span style="color: cyan;">■</span>
Tramo 2	0+000.00 a 0+580.00	<span style="color: orange;">■</span>
Tramo 3	0+400.00 a 0+790.00	<span style="color: magenta;">■</span>
Tramo 4	0+775.00 a 0+970.00	<span style="color: green;">■</span>
Tramo 5	1+065.00 a 1+445.00	<span style="color: red;">■</span>

## Tabla de Resumen de Tramos

Sin Escala



Proyecto : Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución : Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
Jorge Velásquez

Revisó:  
Ing. Claudio Castañón

Plano de:

Planta Conjunto  
0+000.00 a 0+860.00

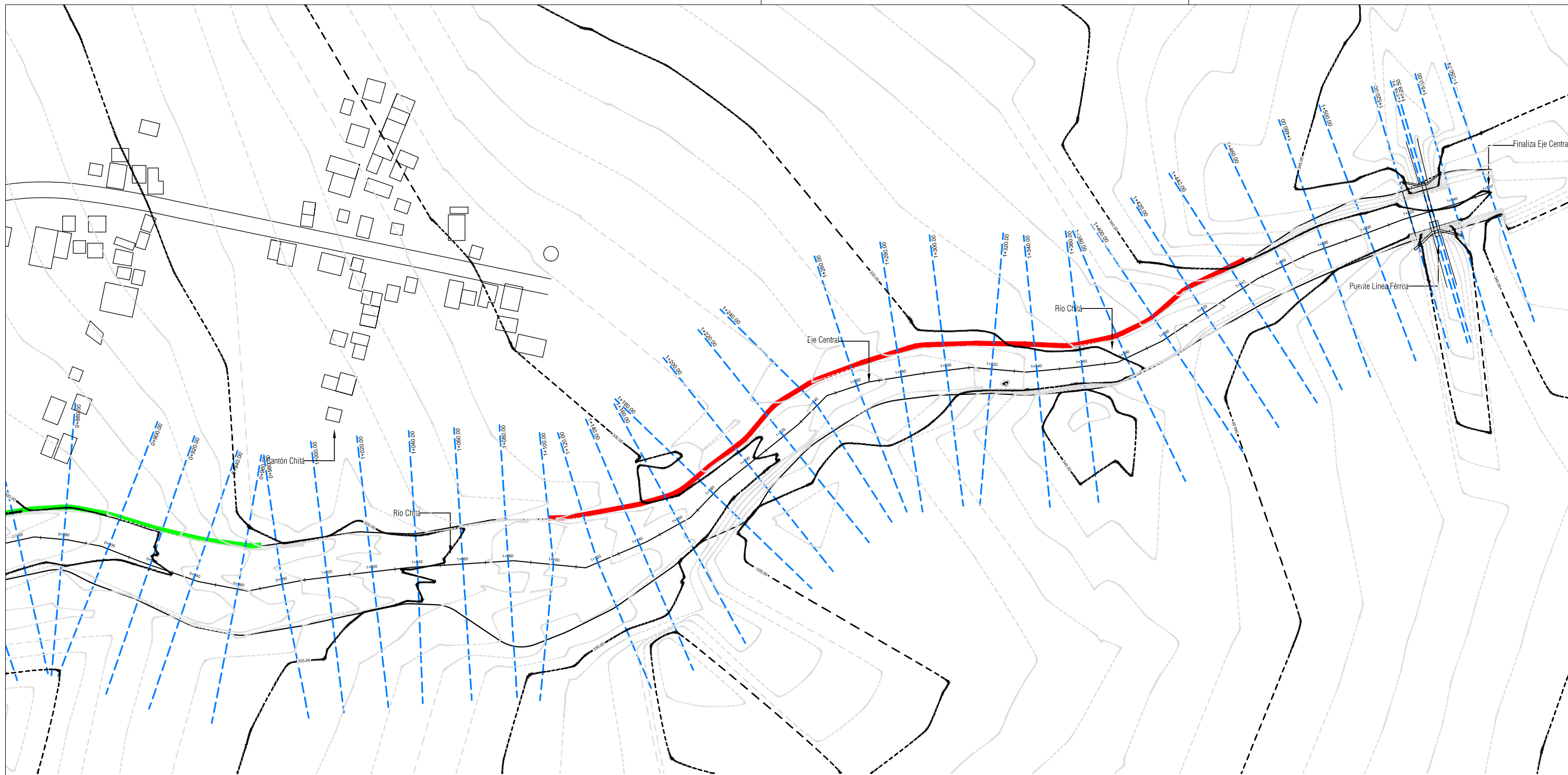
Fecha:  
Octubre 2020

Escala:  
Indicada

HOJA No.

06

23



# Planta Conjunto

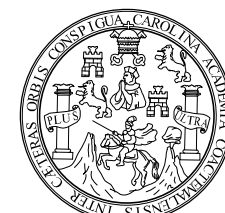
Est. 0+860.00 a 1+556.74

Esc. 1/1750

DESCRIPCION	ESTACIONAMIENTO	COLOR
Tramo 1	0+000.00 a 0+080.00	<span style="color: cyan;">■</span>
Tramo 2	0+000.00 a 0+580.00	<span style="color: orange;">■</span>
Tramo 3	0+400.00 a 0+790.00	<span style="color: magenta;">■</span>
Tramo 4	0+775.00 a 0+970.00	<span style="color: green;">■</span>
Tramo 5	1+065.00 a 1+445.00	<span style="color: red;">■</span>

## Tabla de Resumen de Tramos

Sin Escala



Proyecto : Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez

Institución : Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
Jorge Velásquez

Revisó:  
Ing. Claudio Castañón

Plano de:

Planta Conjunto  
0+860.00 a 1+556.74

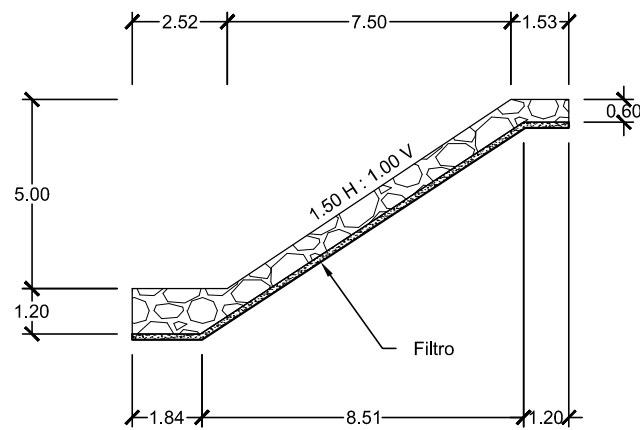
Fecha:  
Octubre 2020

Escala:  
Indicada

HOJA No.

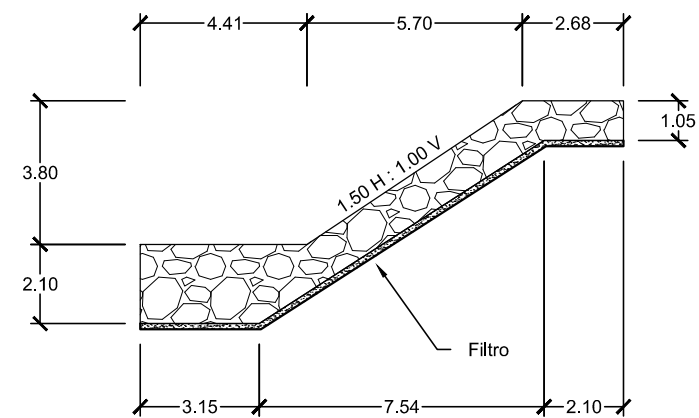
07

23



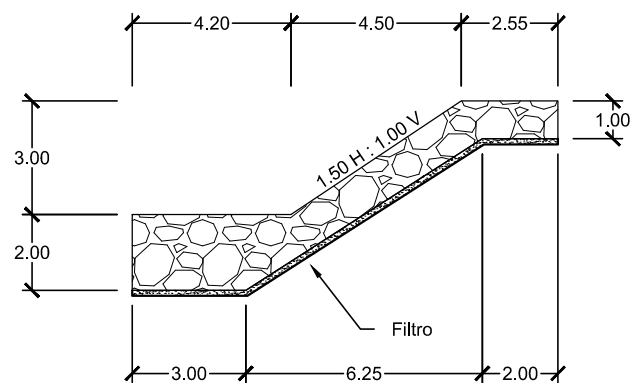
### Sección Típica, Tramo 1 y 2

Sin Escala



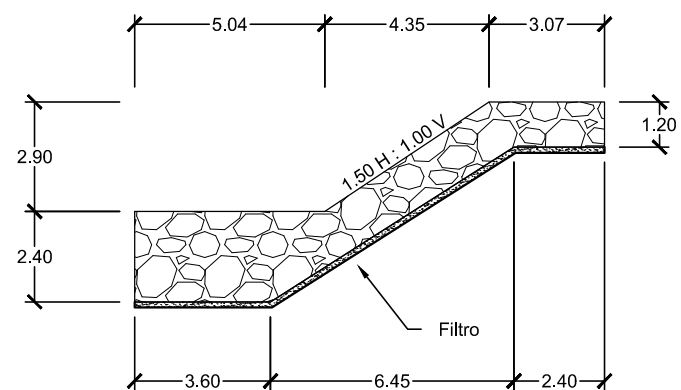
### Sección Típica, Tramo 3

Sin Escala



### Sección Típica, Tramo 4

Sin Escala




### Sección Típica, Tramo 5

Sin Escala

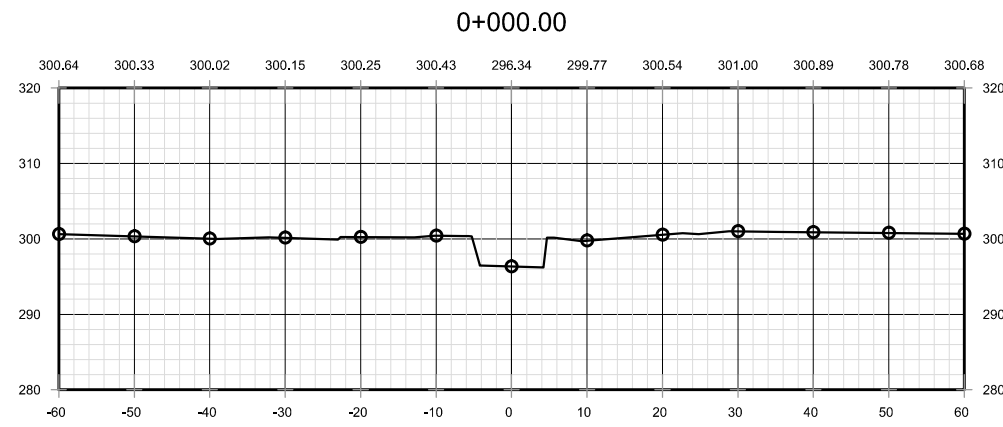
DESCRIPCION	ESTACIONAMIENTO	COLOR
Tramo 1	0+000.00 a 0+080.00	<span style="color: cyan;">■</span>
Tramo 2	0+000.00 a 0+580.00	<span style="color: orange;">■</span>
Tramo 3	0+400.00 a 0+790.00	<span style="color: magenta;">■</span>
Tramo 4	0+775.00 a 0+970.00	<span style="color: green;">■</span>
Tramo 5	1+065.00 a 1+445.00	<span style="color: red;">■</span>

### Tabla de Resumen de Tramos

Sin Escala

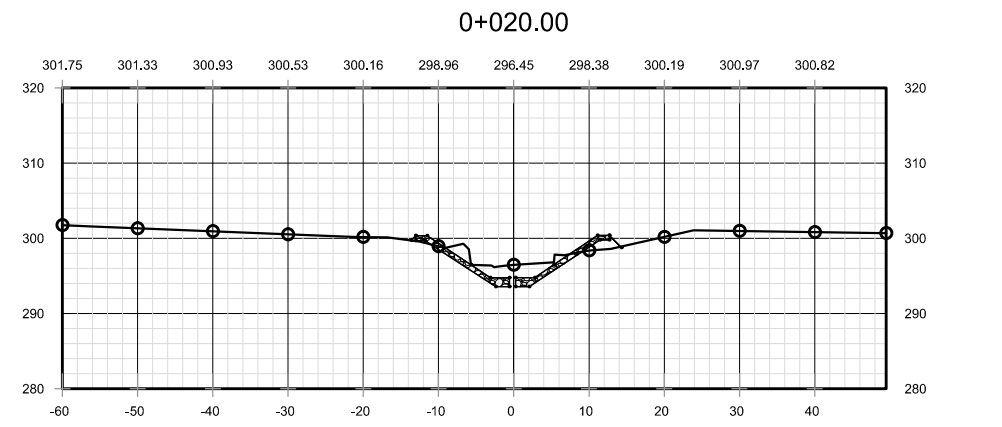
	Proyecto : <b>Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez</b>	Diseño / Cálculo / Dibujo: <b>Jorge Velásquez</b>	Fecha: <b>Octubre 2020</b>	<b>HOJA No.</b>  <b>08</b>  <b>23</b>
	Institución <b>Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería</b>	Revisó: <b>Ing. Claudio Castañón</b>	Escala: <b>Indicada</b>	





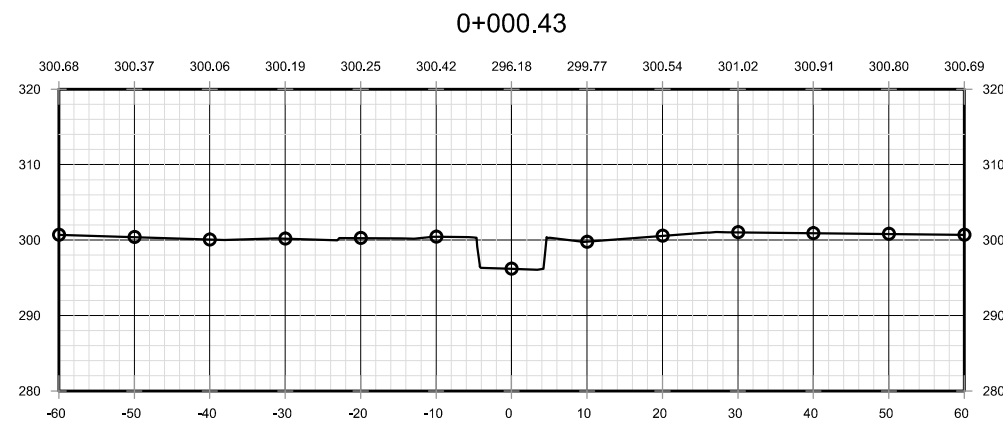
**Sección Transversal**  
Est. 0+000.00

Esc. 1/1000



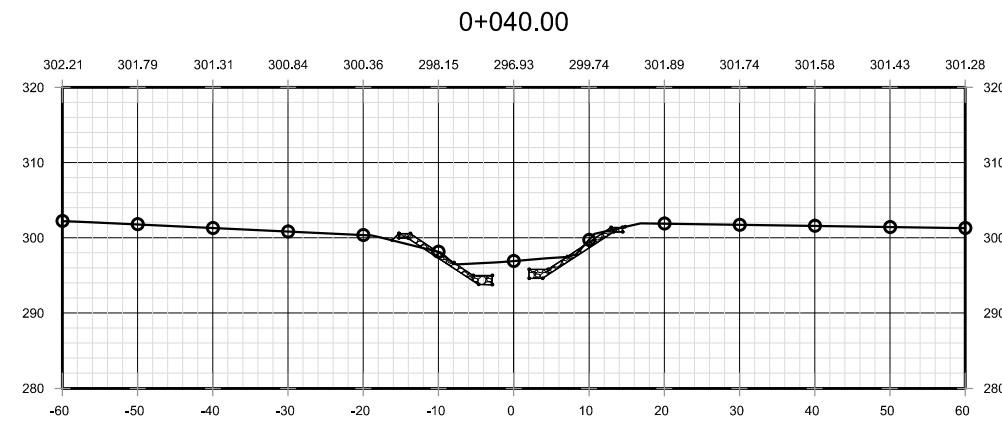
**Sección Transversal**  
Est. 0+020.00

Esc. 1/1000



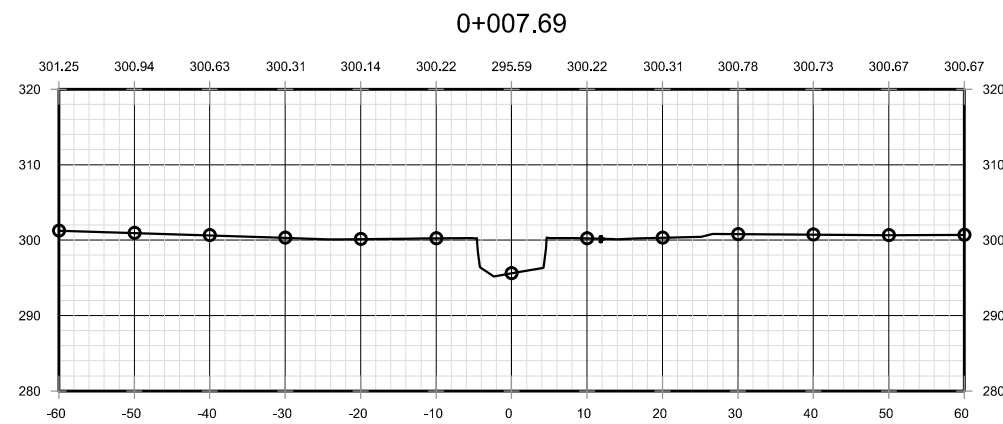
**Sección Transversal**  
Est. 0+000.43

Esc. 1/1000



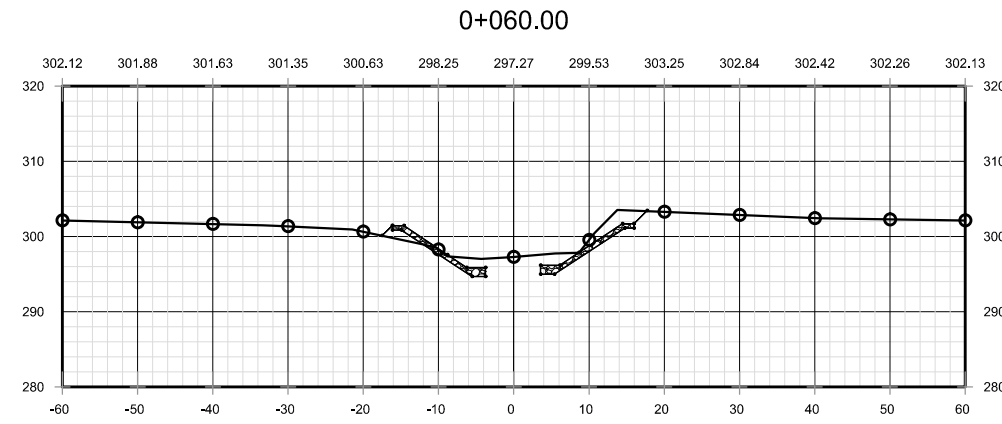
**Sección Transversal**  
Est. 0+040.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+007.69

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+060.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales  
0+000.00 a 0+060.00**

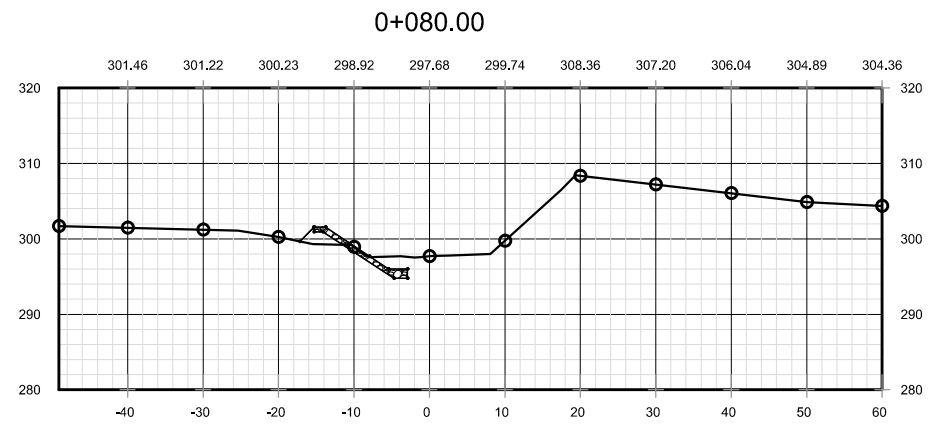
Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

HOJA No.

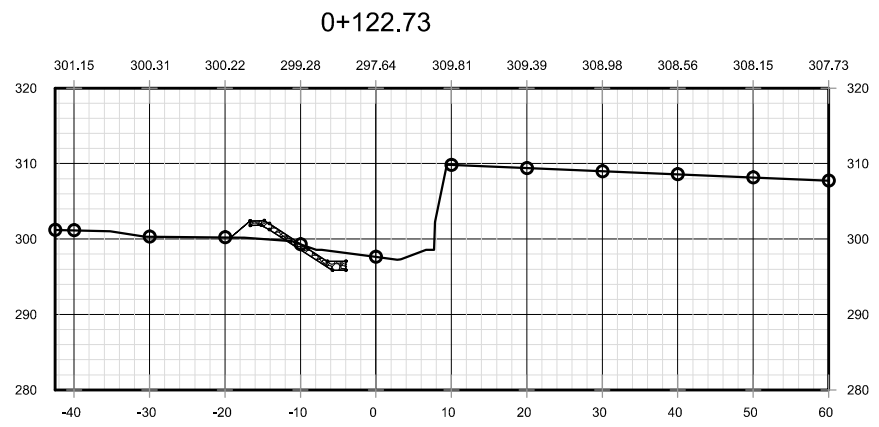
**09**

**23**



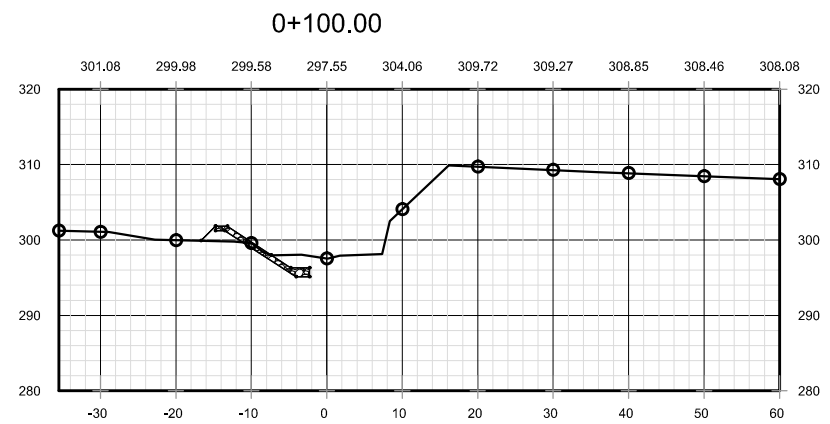
**Sección Transversal**  
Est. 0+080.00

Esc. 1/1000



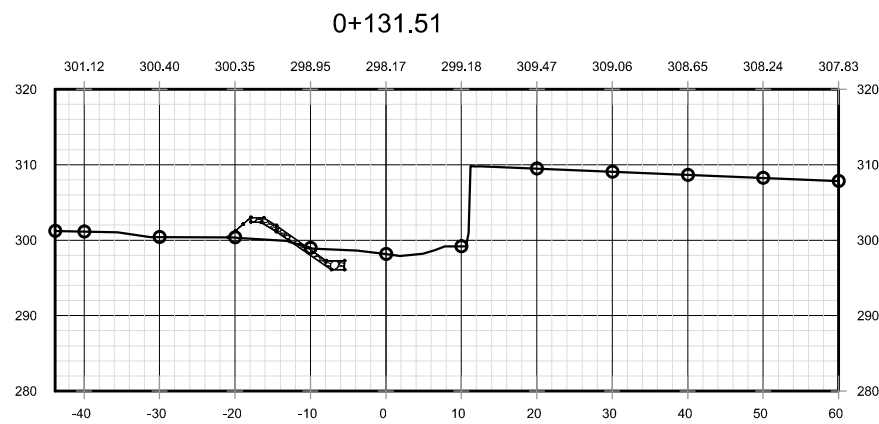
**Sección Transversal**  
Est. 0+122.73

Esc. 1/1000



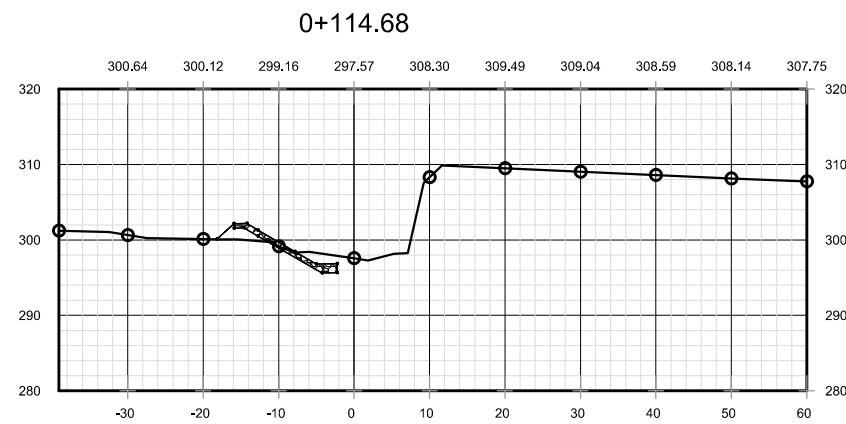
**Sección Transversal**  
Est. 0+100.00

Esc. 1/1000



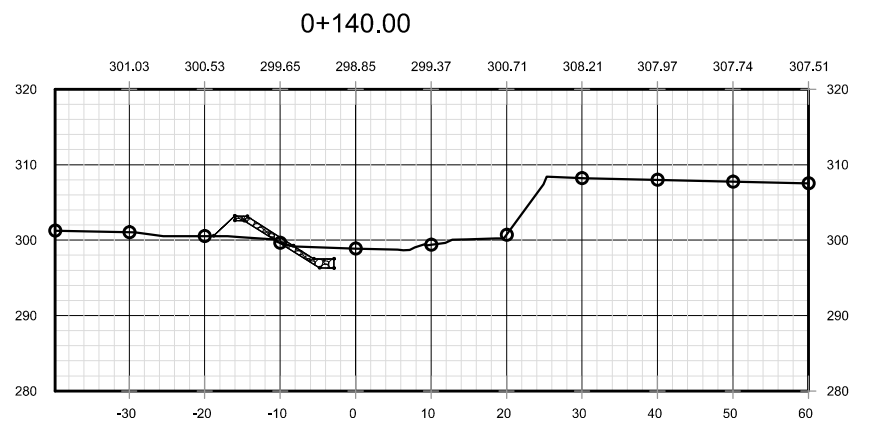
**Sección Transversal**  
Est. 0+131.53

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+114.68

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+140.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

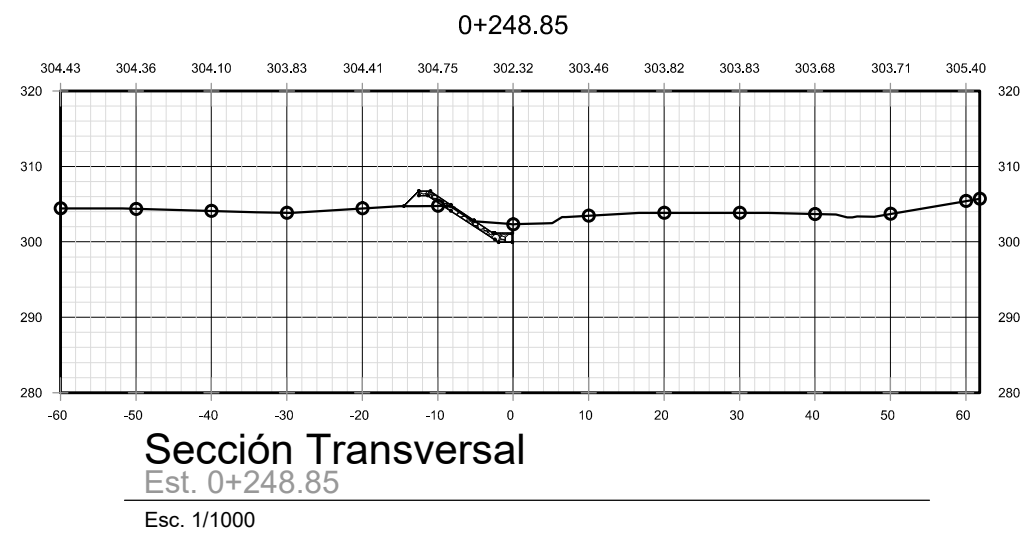
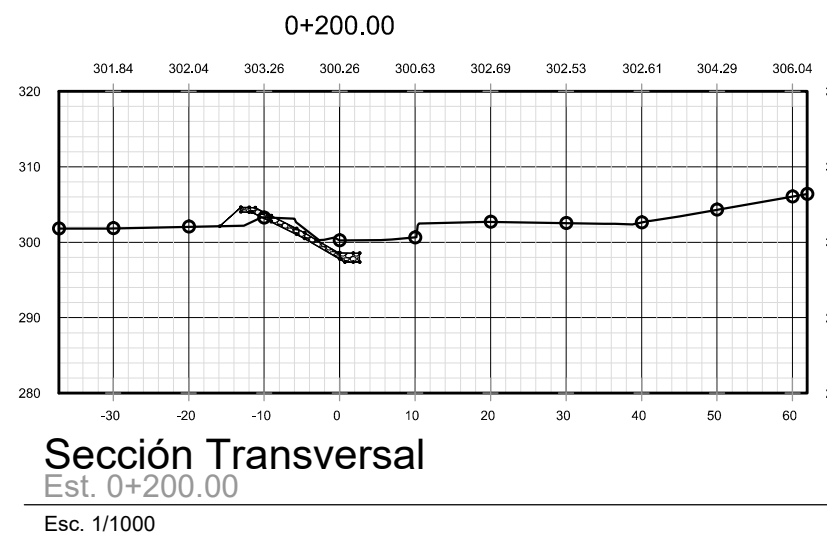
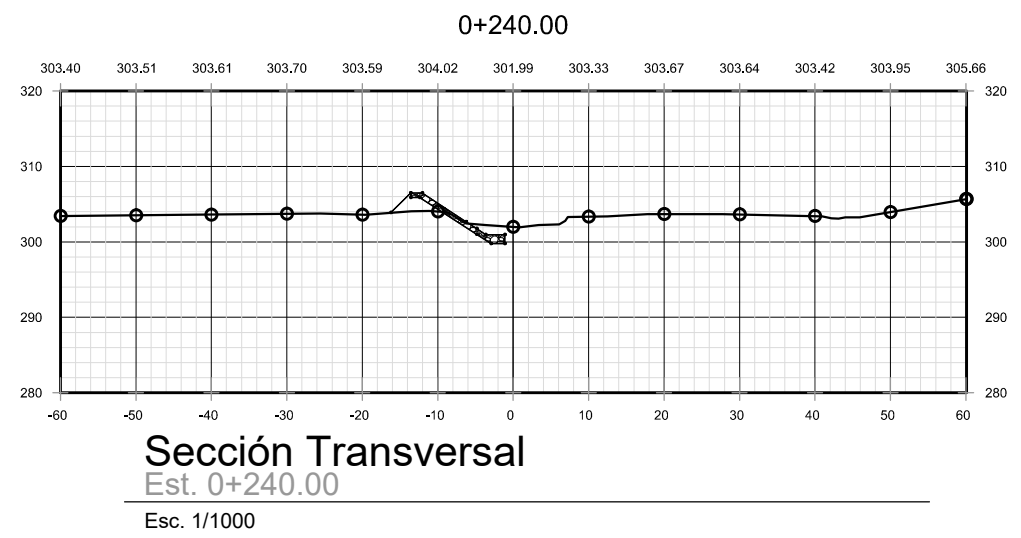
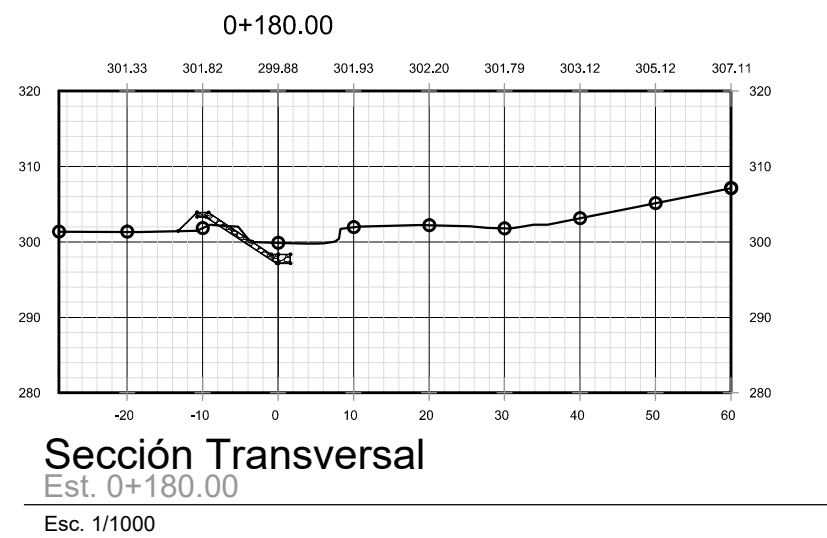
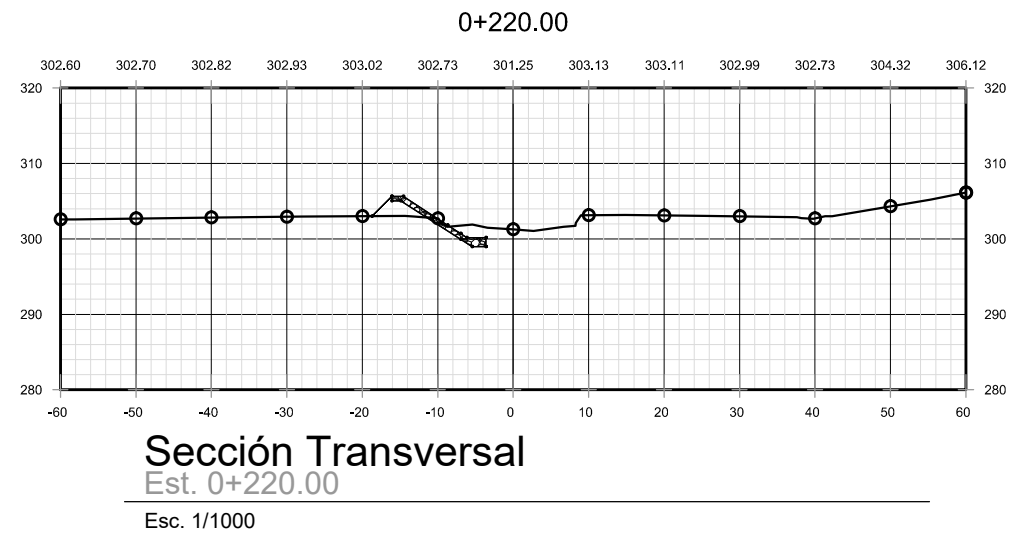
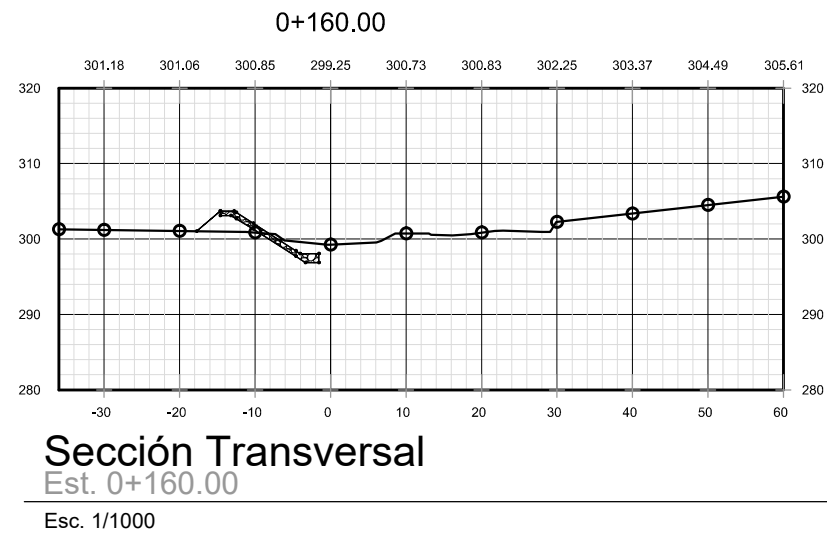
**Secciones Transversales  
0+080.00 a 0+140.00**

Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

**HOJA No.**

**10  
23**



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución : **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Fecha:  
**Octubre 2020**

**HOJA No.**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

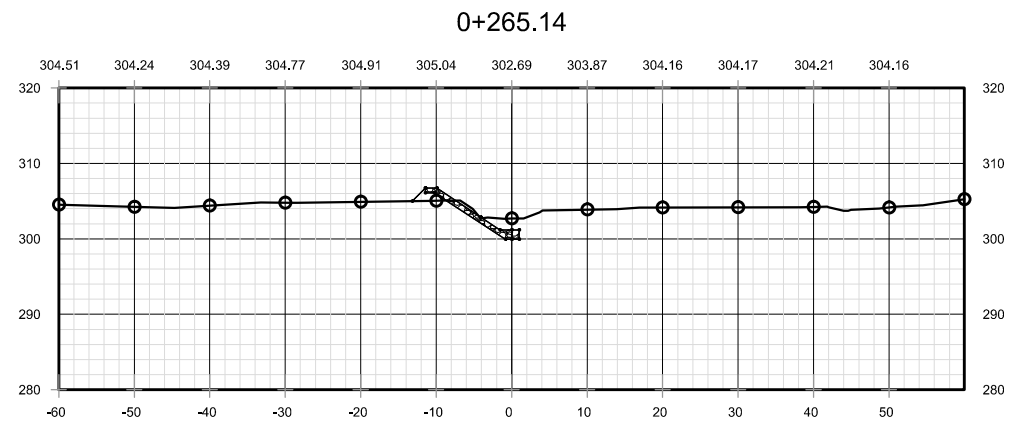
Escala:  
**Indicada**

**11**

Plano de:

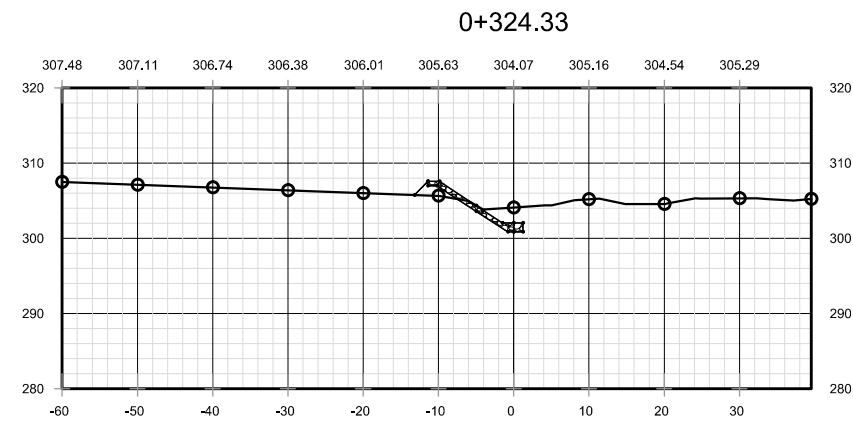
**Secciones Transversales  
0+160.00 a 0+248.85**

**23**



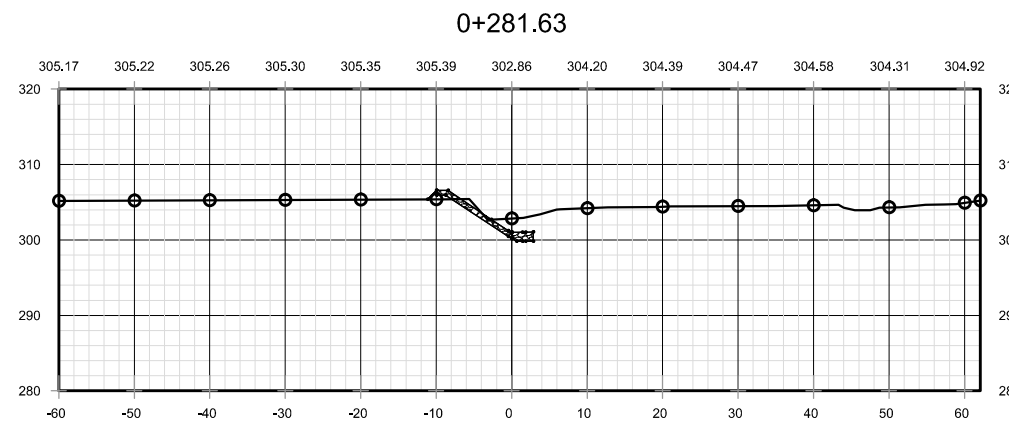
**Sección Transversal**  
Est. 0+265.14

Esc. 1/1000



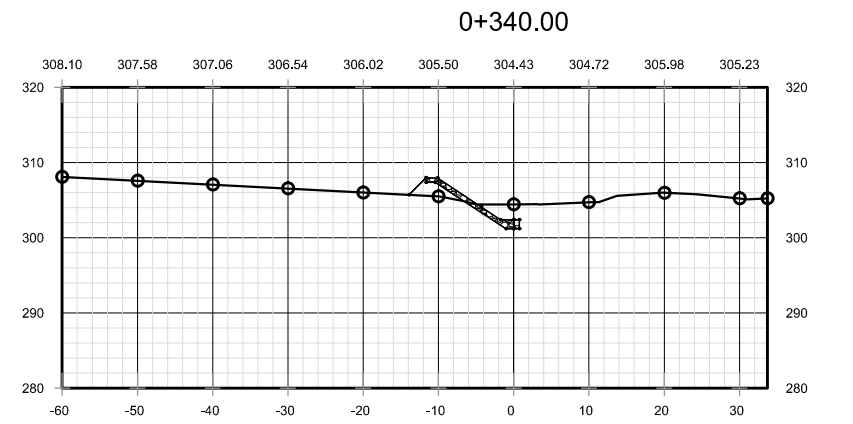
**Sección Transversal**  
Est. 0+324.33

Esc. 1/1000



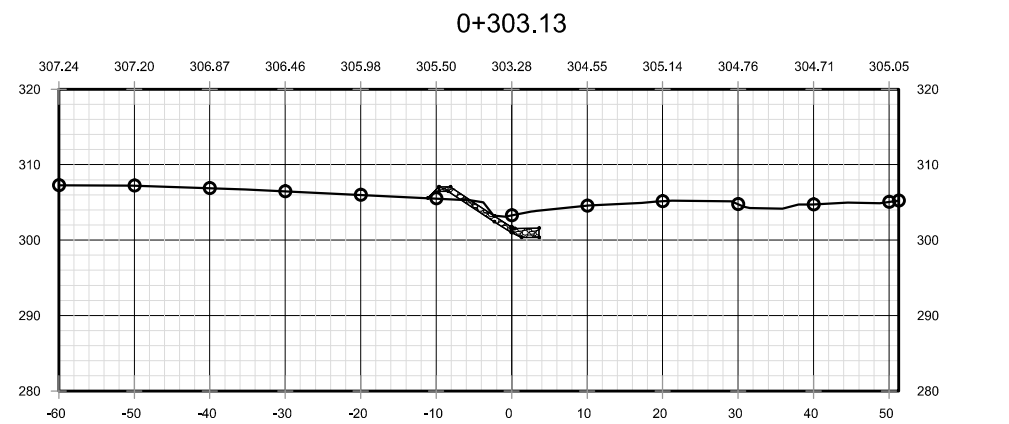
**Sección Transversal**  
Est. 0+281.63

Esc. 1/1000



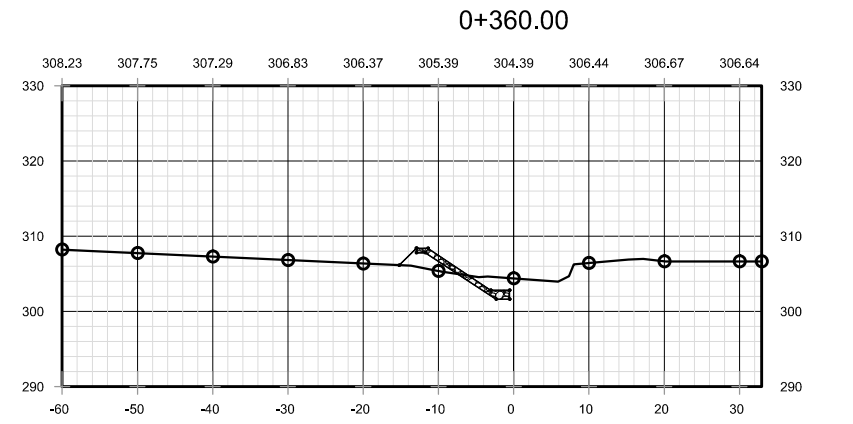
**Sección Transversal**  
Est. 0+340.00

Esc. 1/1000



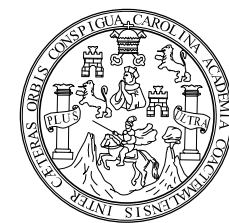
**Sección Transversal**  
Est. 0+303.13

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+360.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

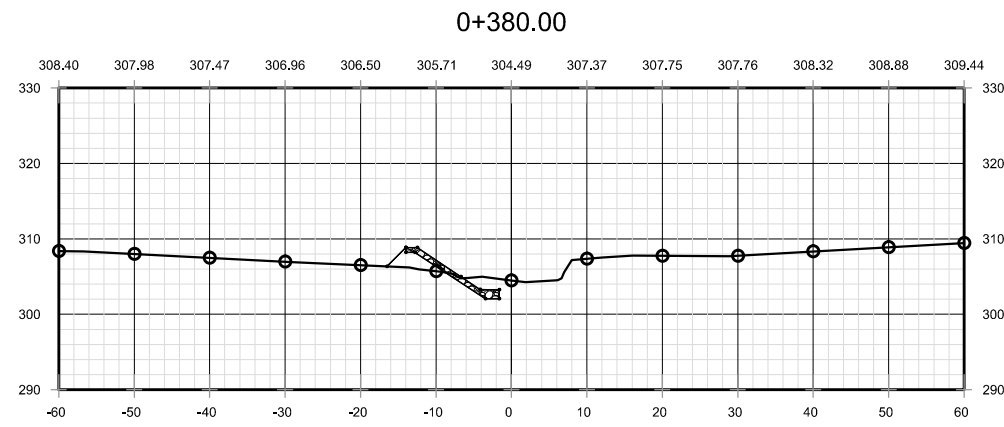
**Secciones Transversales  
0+265.14 a 0+360.00**

Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

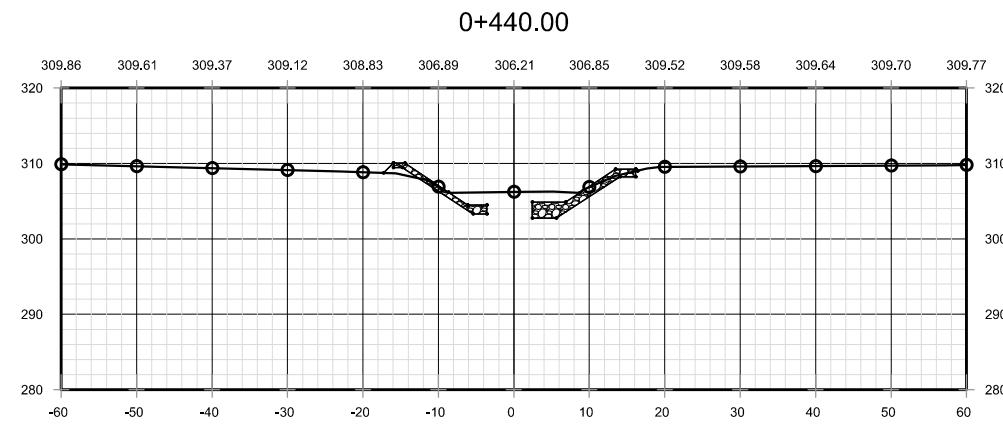
HOJA No.

**12**  
**23**



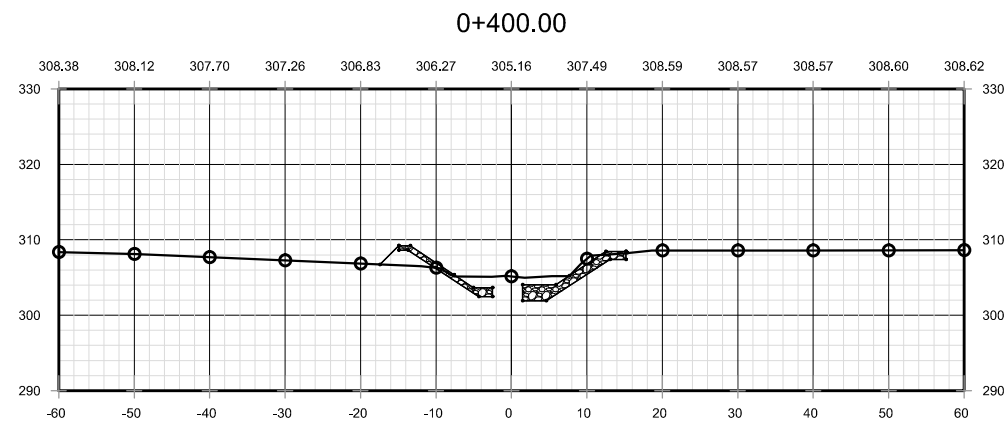
**Sección Transversal**  
Est. 0+380.00

Esc. 1/1000



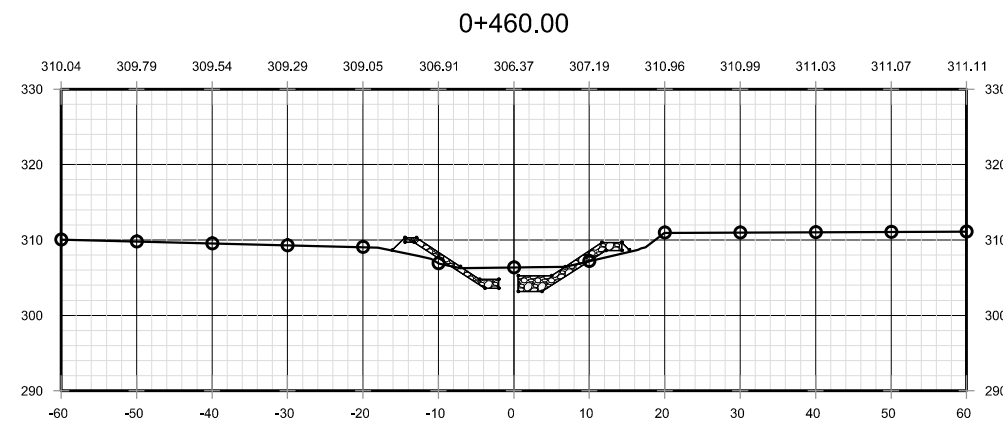
**Sección Transversal**  
Est. 0+440.00

Esc. 1/1000



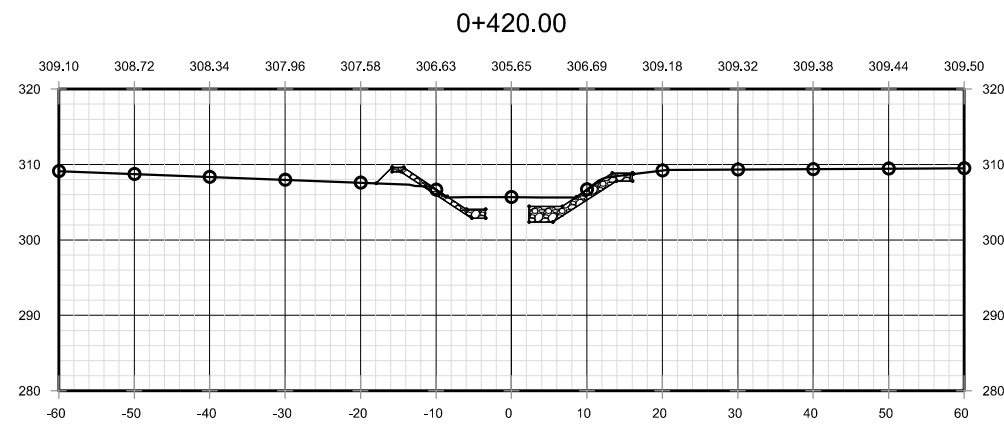
**Sección Transversal**  
Est. 0+400.00

Esc. 1/1000



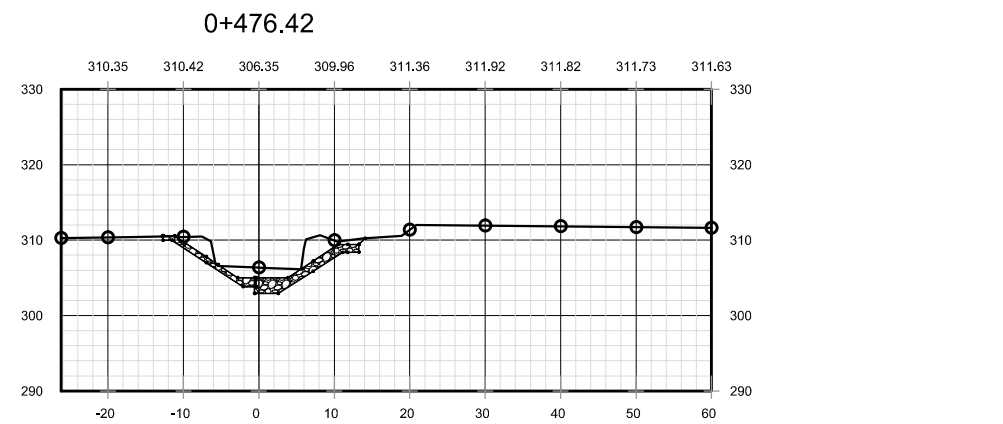
**Sección Transversal**  
Est. 0+460.00

Esc. 1/1000



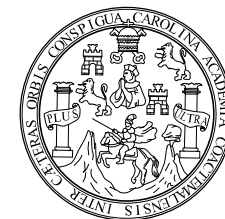
**Sección Transversal**  
Est. 0+420.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+476.42

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales  
0+380.00 a 0+476.42**

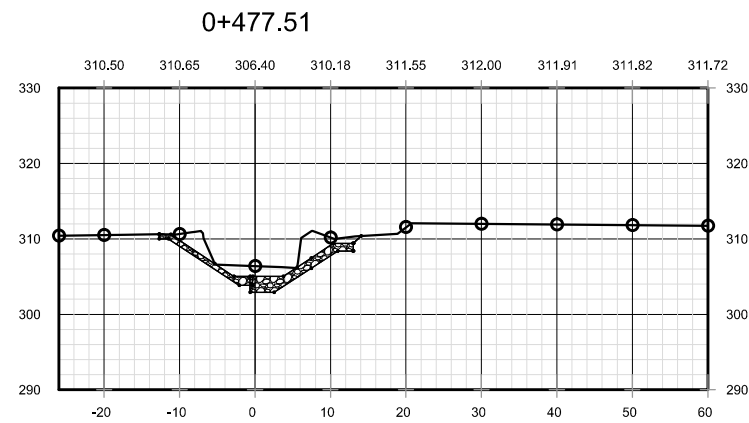
Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

**HOJA No.**

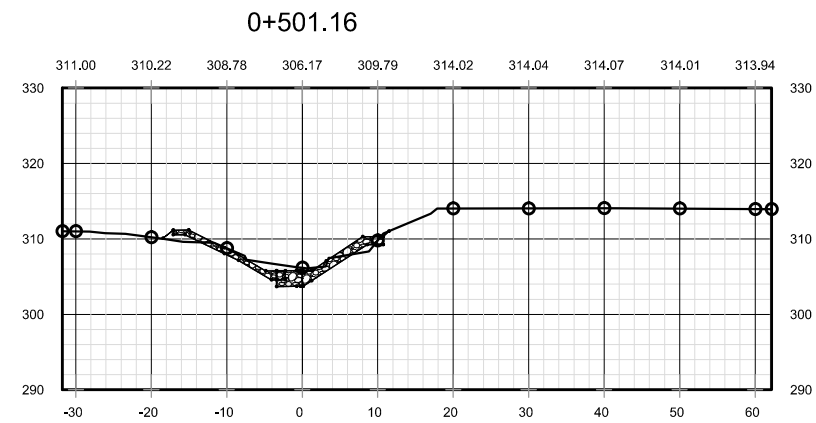
**13**

**23**



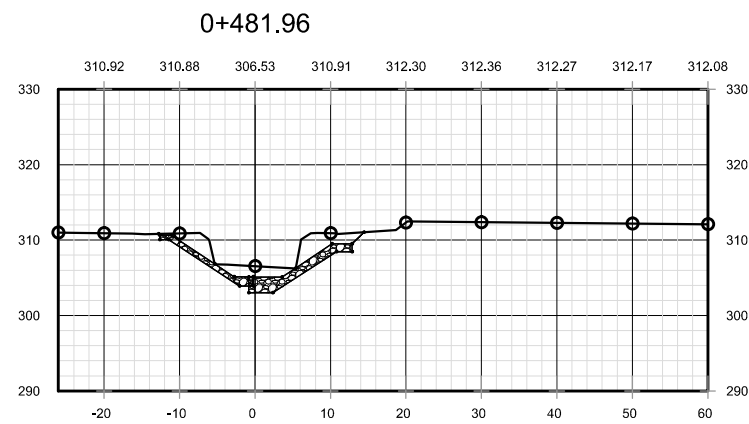
**Sección Transversal**  
Est. 0+477.51

Esc. 1/1000



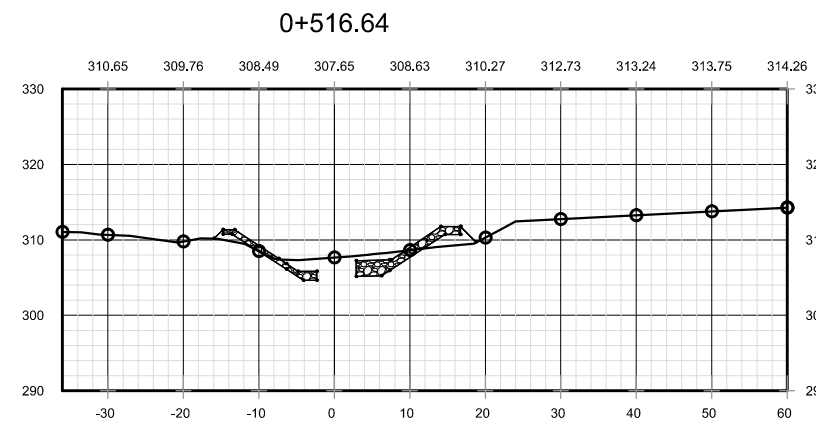
**Sección Transversal**  
Est. 0+501.16

Esc. 1/1000



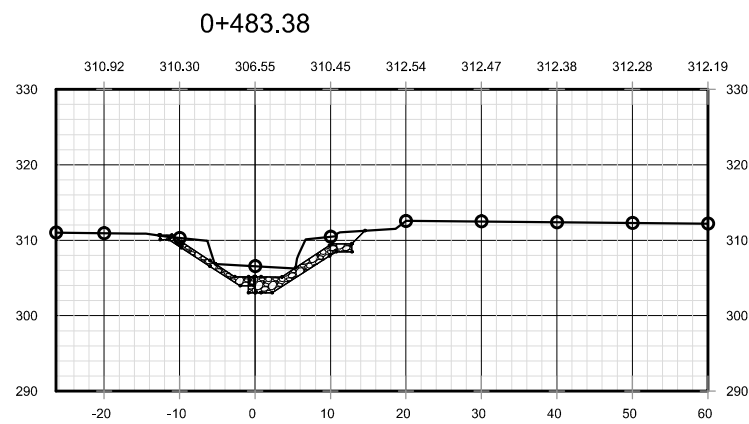
**Sección Transversal**  
Est. 0+481.96

Esc. 1/1000



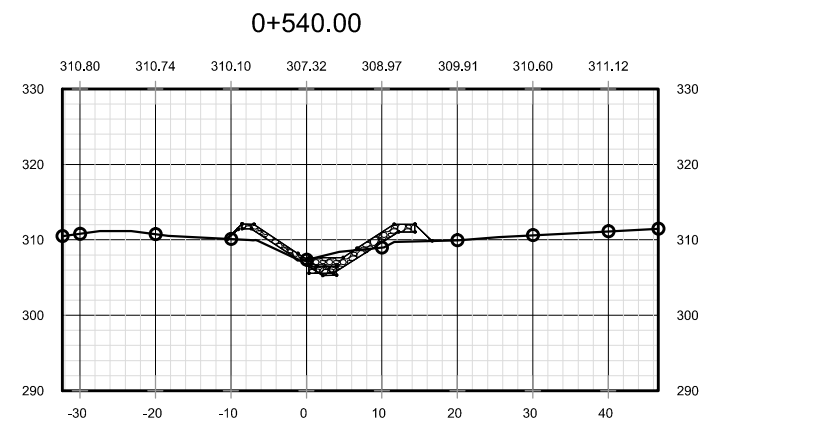
**Sección Transversal**  
Est. 0+516.64

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+483.38

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+540.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:

**Jorge Velásquez**

Revisó:

**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales  
0+477.51 a 0+540.00**

Fecha:

**Octubre 2020**

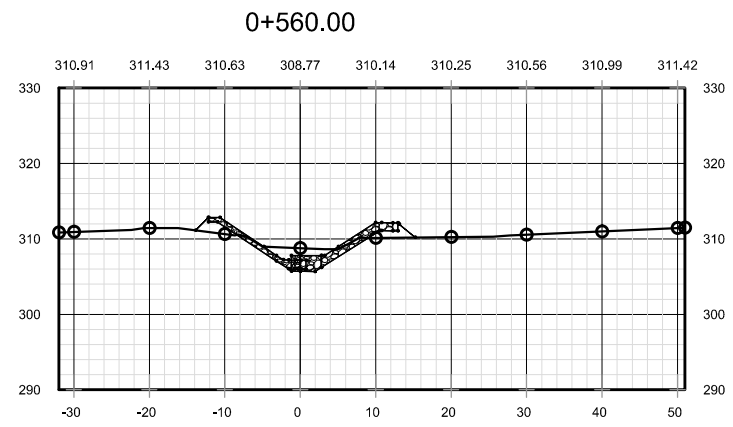
Escala:

**Indicada**

HOJA No.

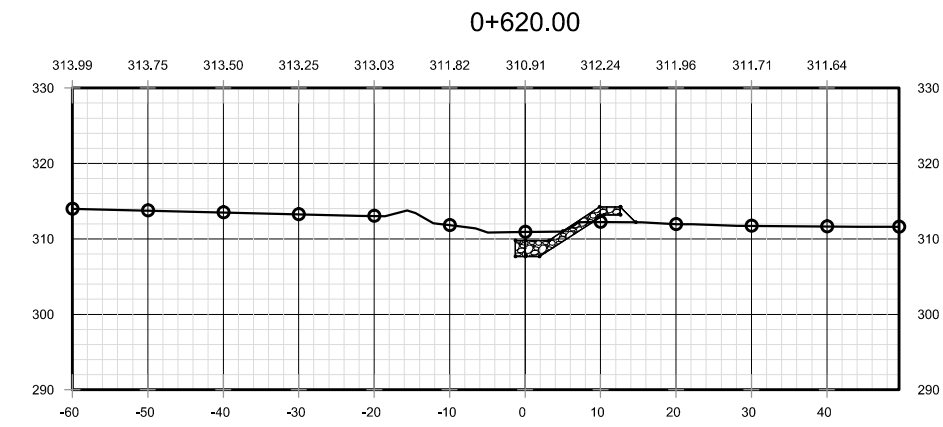
**14**

**23**



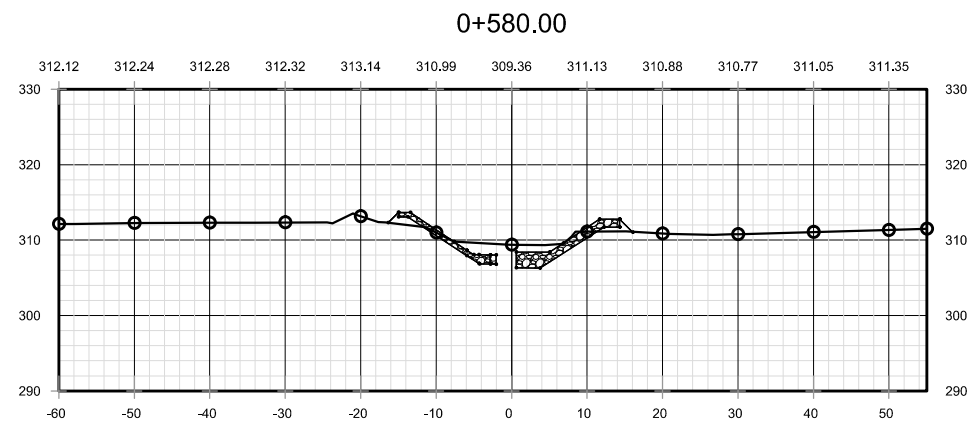
**Sección Transversal**  
Est. 0+560.00

Esc. 1/1000



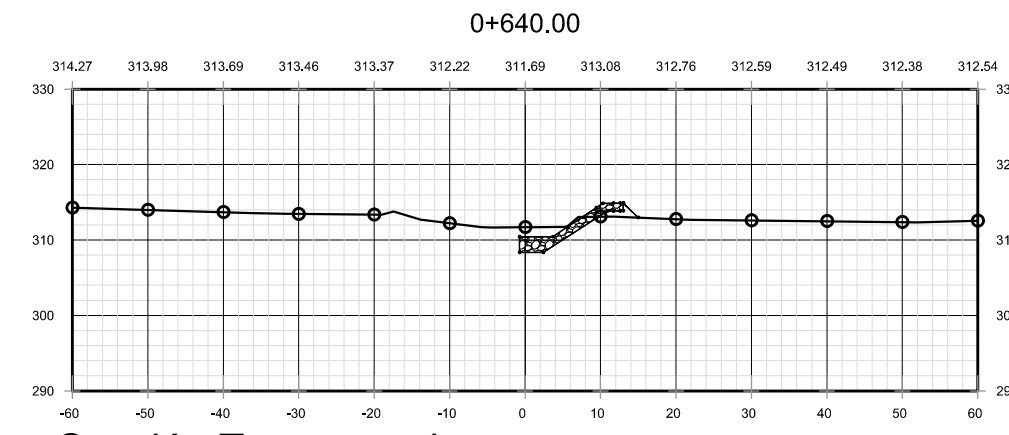
**Sección Transversal**  
Est. 0+620.00

Esc. 1/1000



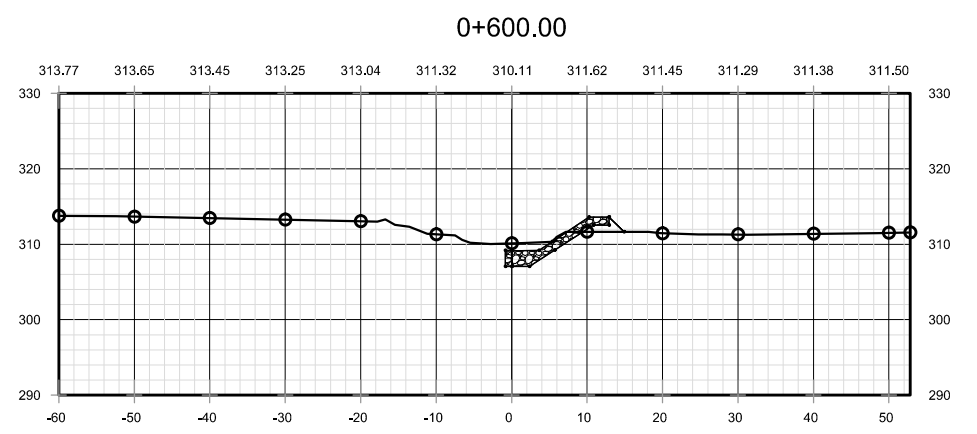
**Sección Transversal**  
Est. 0+580.00

Esc. 1/1000



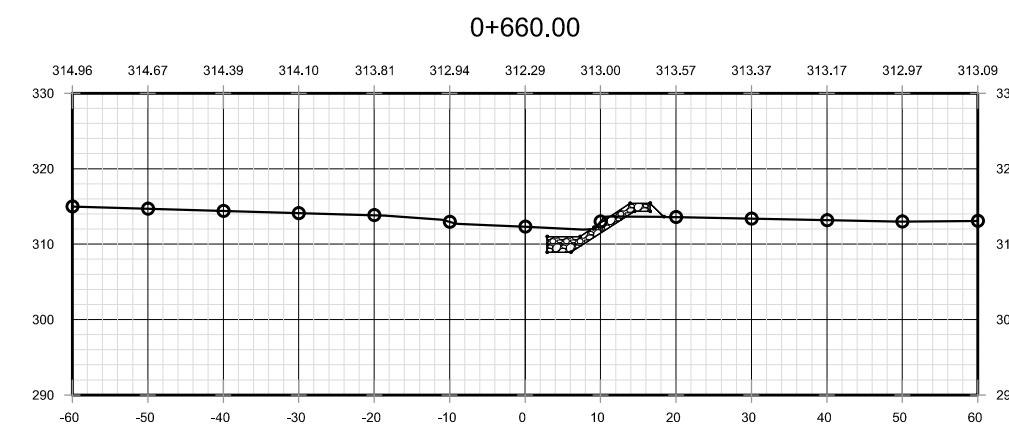
**Sección Transversal**  
Est. 0+640.00

Esc. 1/1000



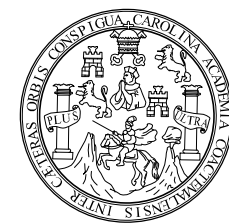
**Sección Transversal**  
Est. 0+600.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+660.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo: **Jorge Velásquez**

Revisó: **Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

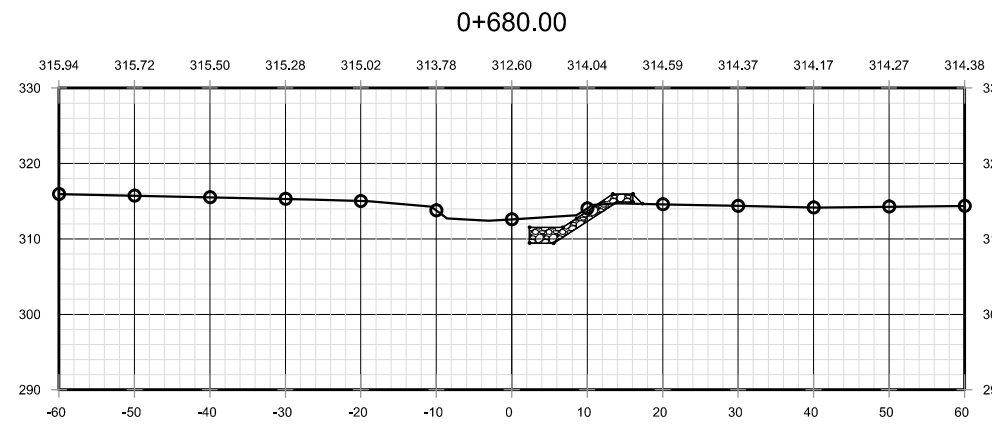
Fecha: **Octubre 2020**

Escala: **Indicada**

**Secciones Transversales 0+560.00 a 0+660.00**

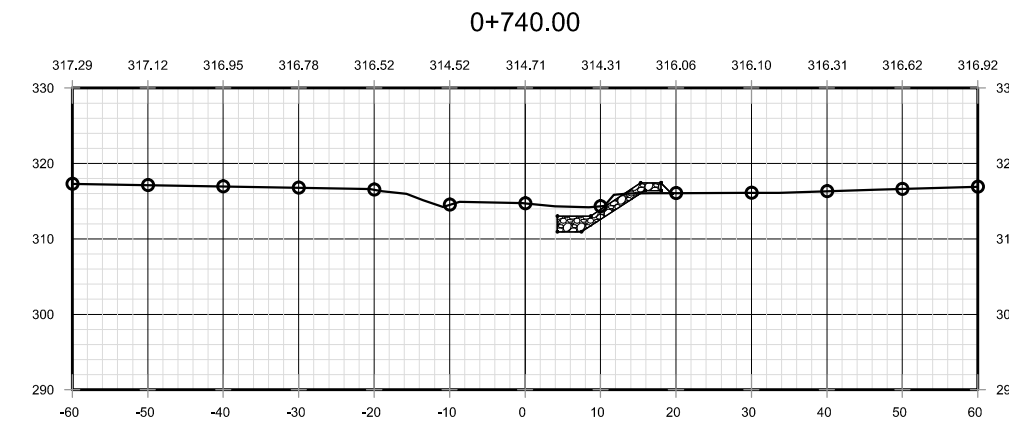
HOJA No.

**15**  
**23**



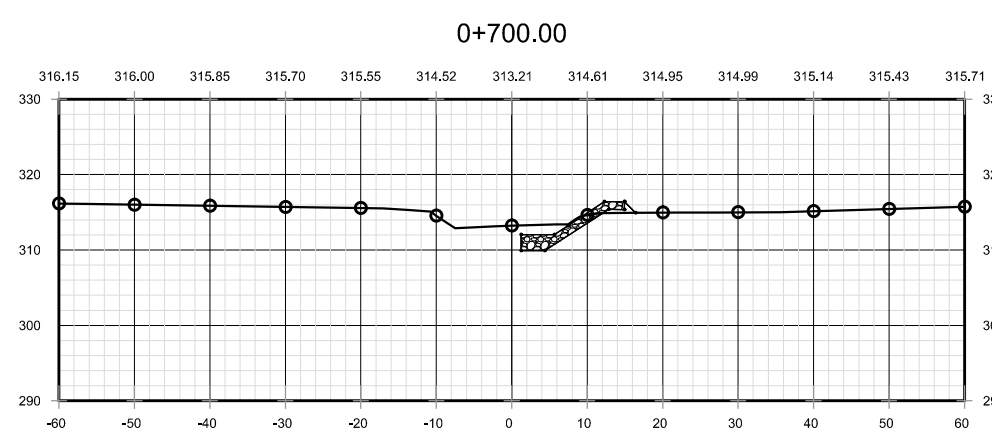
**Sección Transversal**  
Est. 0+680.00

Esc. 1/1000



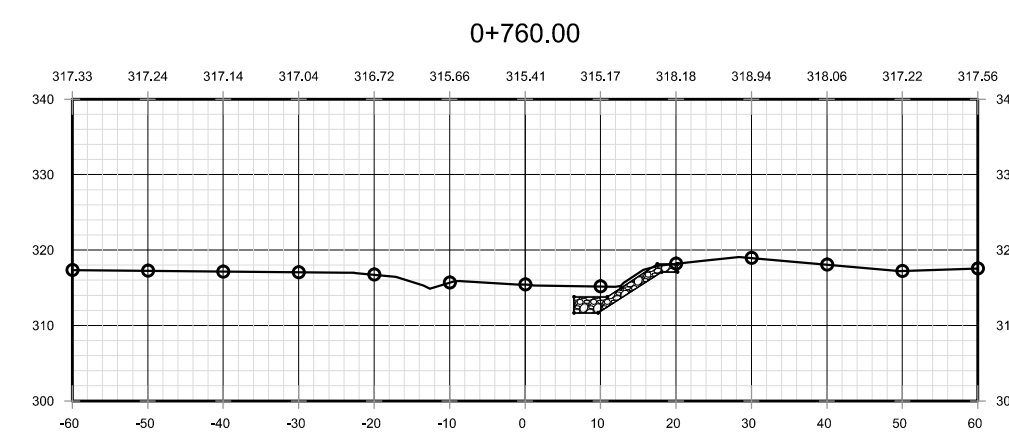
**Sección Transversal**  
Est. 0+740.00

Esc. 1/1000



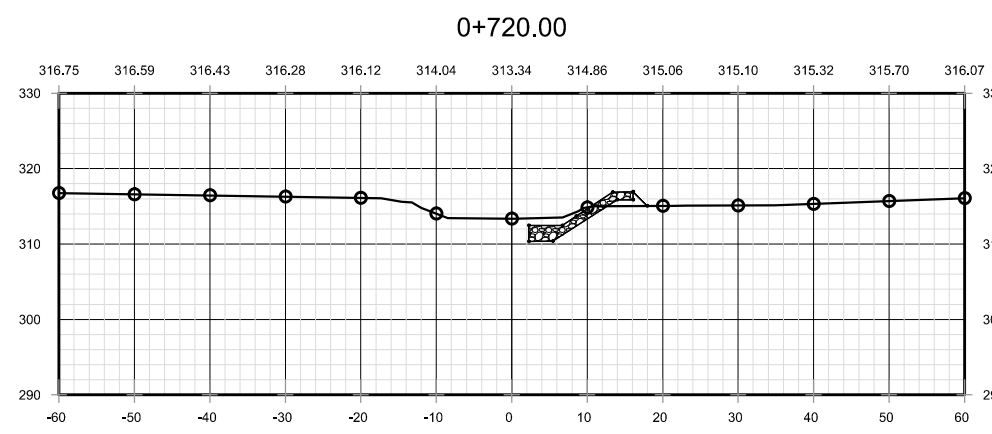
**Sección Transversal**  
Est. 0+700.00

Esc. 1/1000



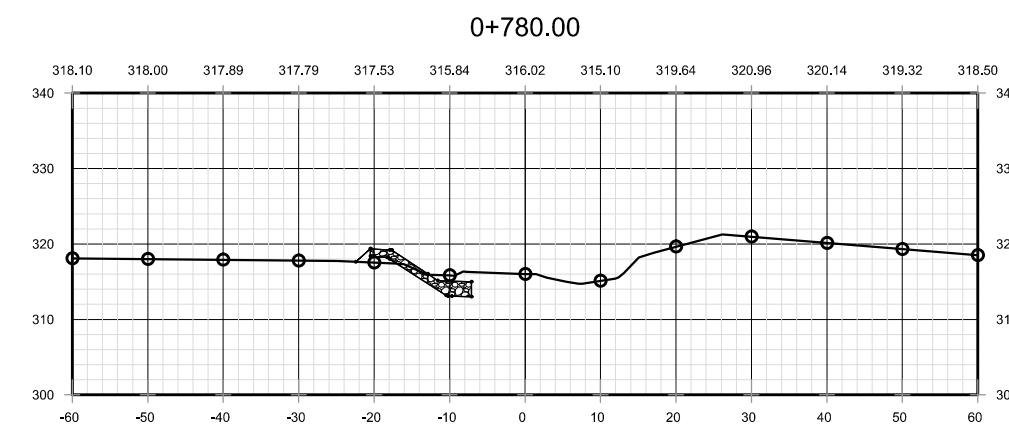
**Sección Transversal**  
Est. 0+760.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+720.00


Esc. 1/1000



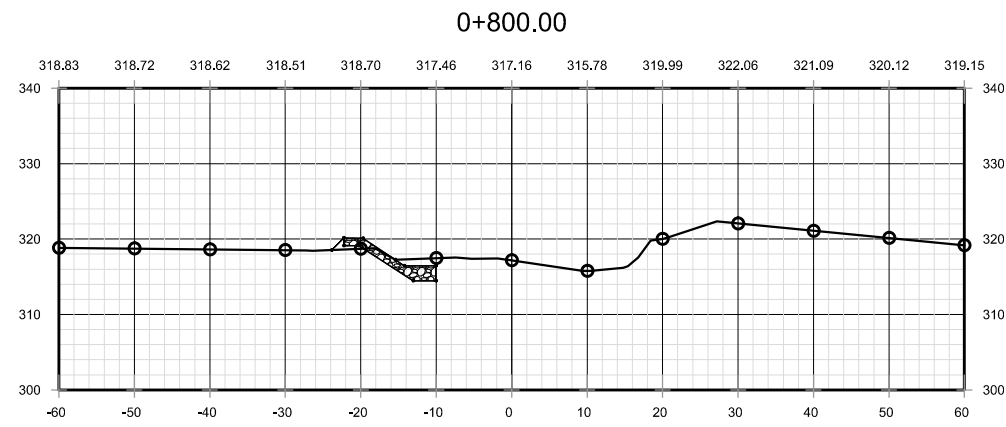
**Sección Transversal**  
Est. 0+780.00

Esc. 1/1000



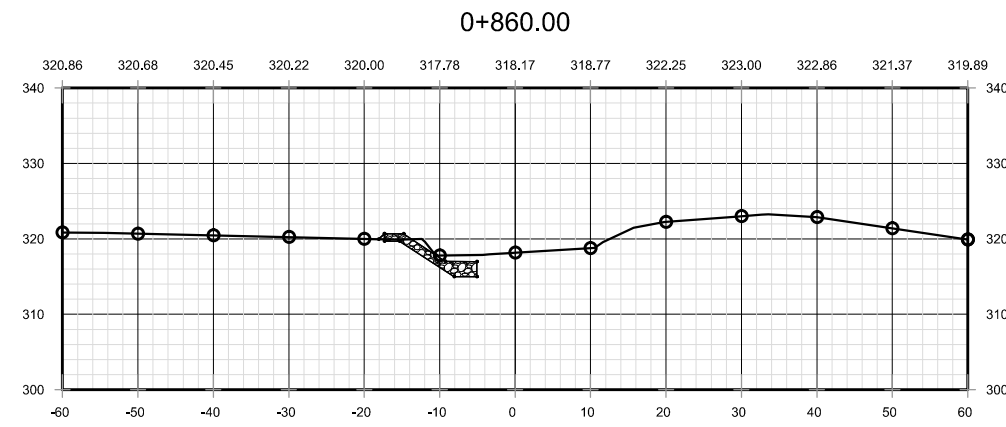
	Proyecto : <b>Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez</b>	Diseño / Cálculo / Dibujo: <b>Jorge Velásquez</b>	Fecha: <b>Octubre 2020</b>	<b>HOJA No.</b>  <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">16</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">23</div>
	Institución : <b>Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería</b>	Revisó: <b>Ing. Claudio Castañón</b>	Escala: <b>Indicada</b>	
		Plano de: <b>Secciones Transversales 0+680.00 a 0+780.00</b>		





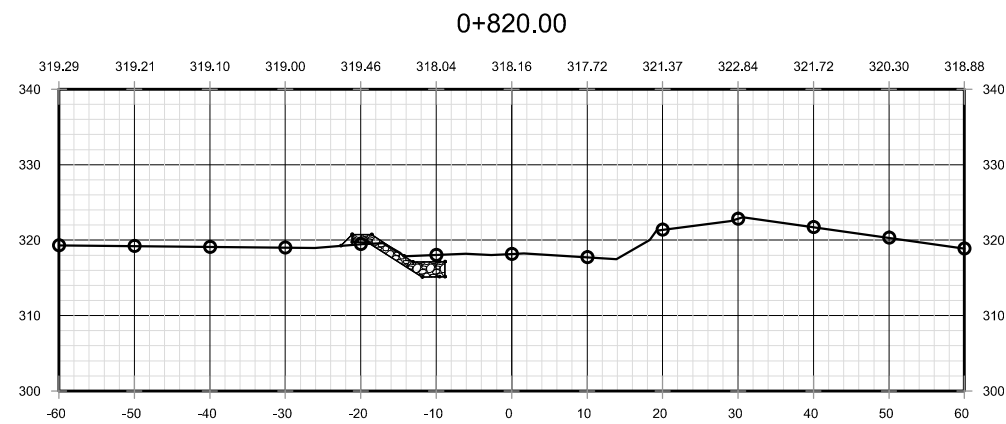
**Sección Transversal**  
Est. 0+800.00

Esc. 1/1000



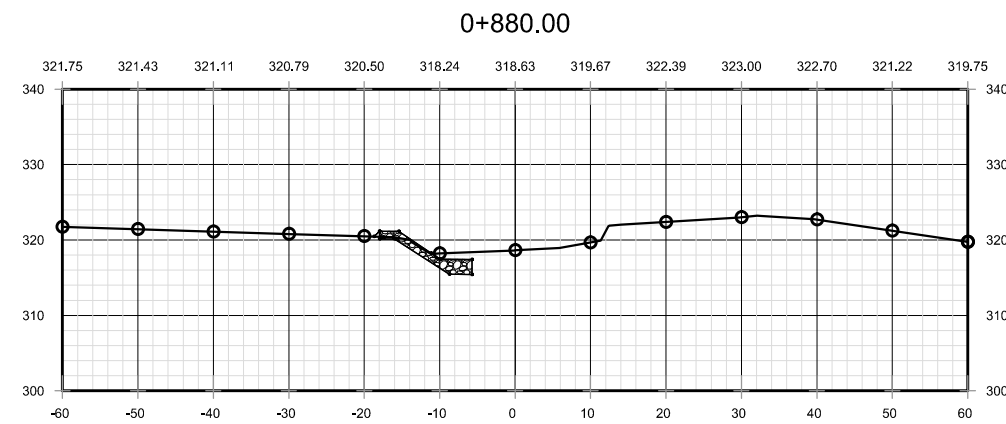
**Sección Transversal**  
Est. 0+860.00

Esc. 1/1000



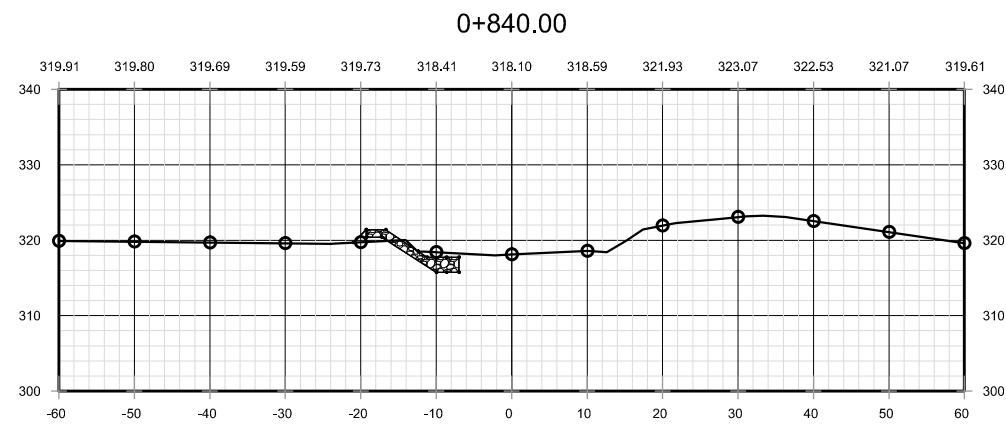
**Sección Transversal**  
Est. 0+820.00

Esc. 1/1000



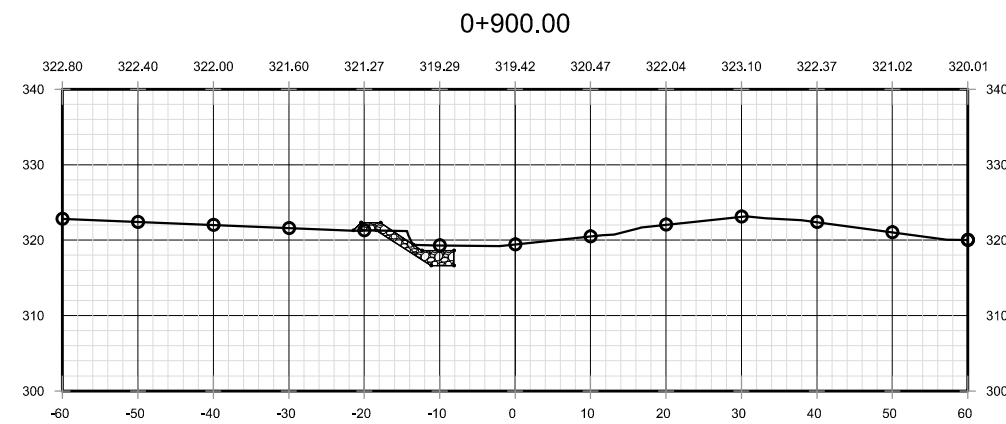
**Sección Transversal**  
Est. 0+880.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+840.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+900.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

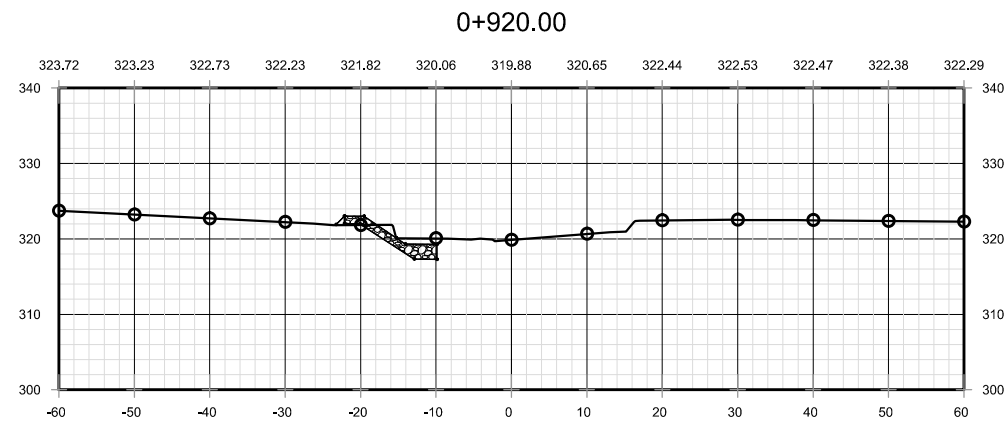
**Secciones Transversales 0+800.00 a 0+900.00**

Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

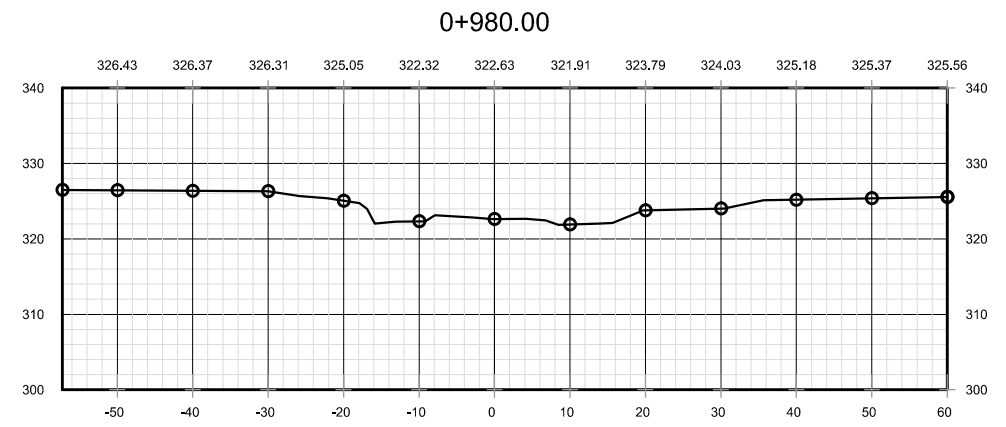
**HOJA No.**

**17**  
**23**



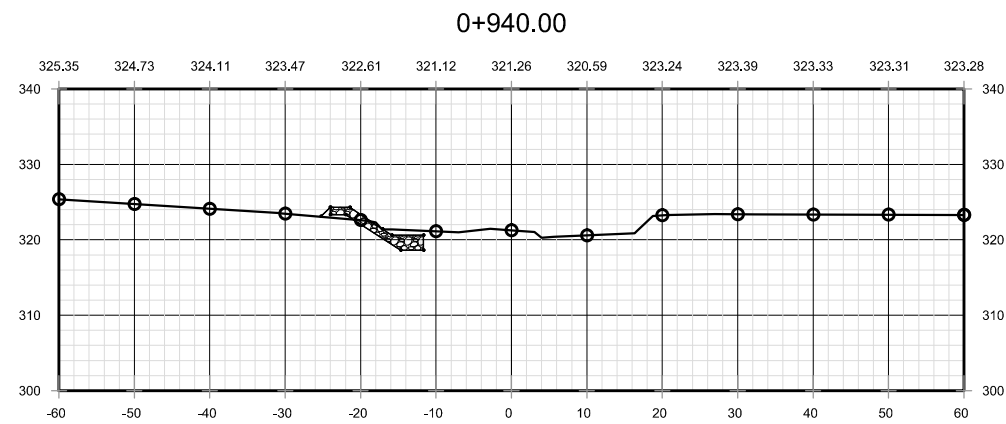
**Sección Transversal**  
Est. 0+920.00

Esc. 1/1000



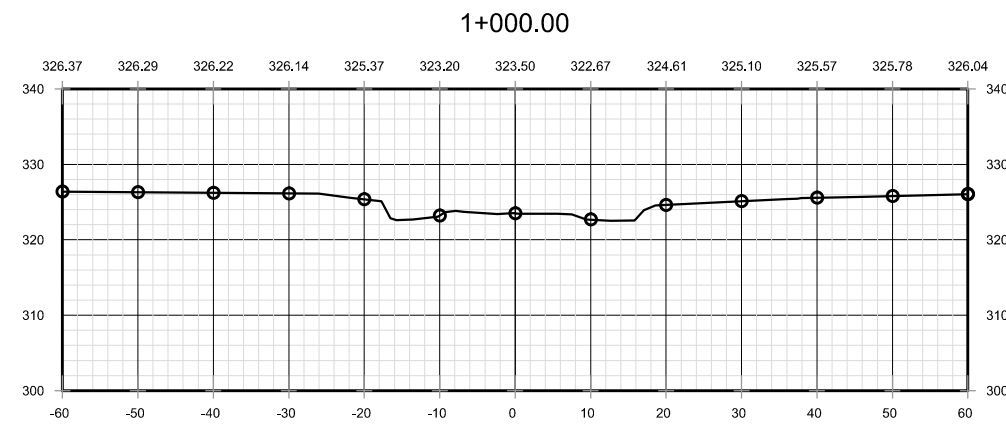
**Sección Transversal**  
Est. 0+980.00

Esc. 1/1000



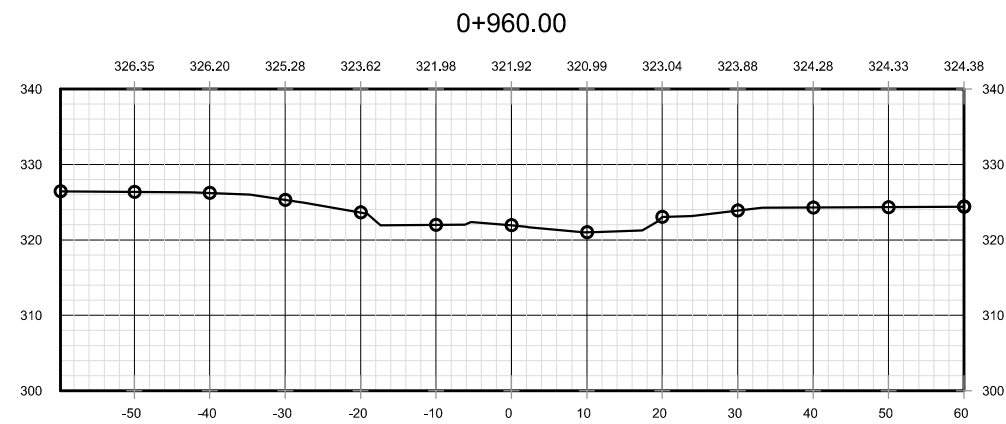
**Sección Transversal**  
Est. 0+940.00

Esc. 1/1000



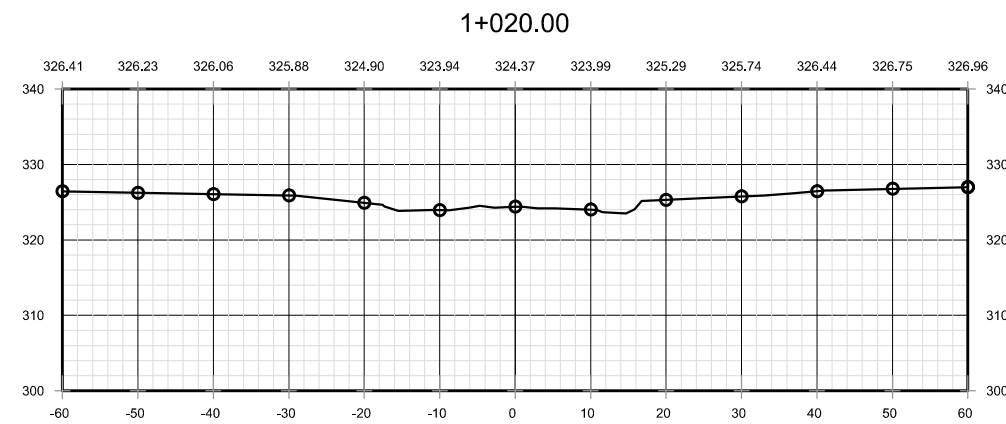
**Sección Transversal**  
Est. 1+000.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 0+960.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+020.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:

**Jorge Velásquez**

Revisó:

**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales  
0+920.00 a 1+020.00**

Fecha:

**Octubre 2020**

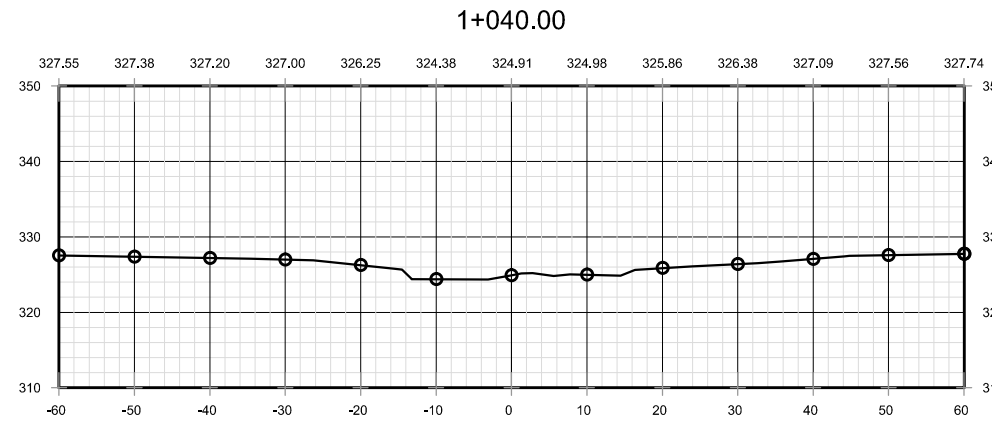
Escala:

**Indicada**

HOJA No.

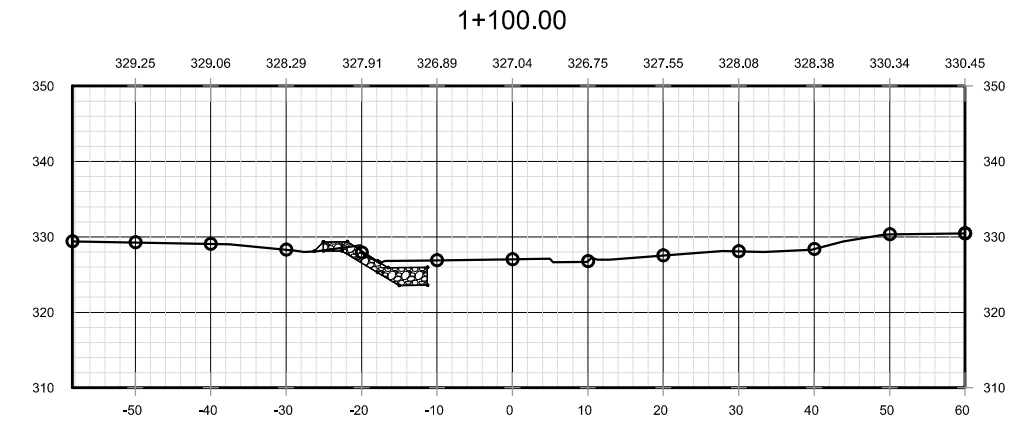
**18**

**23**



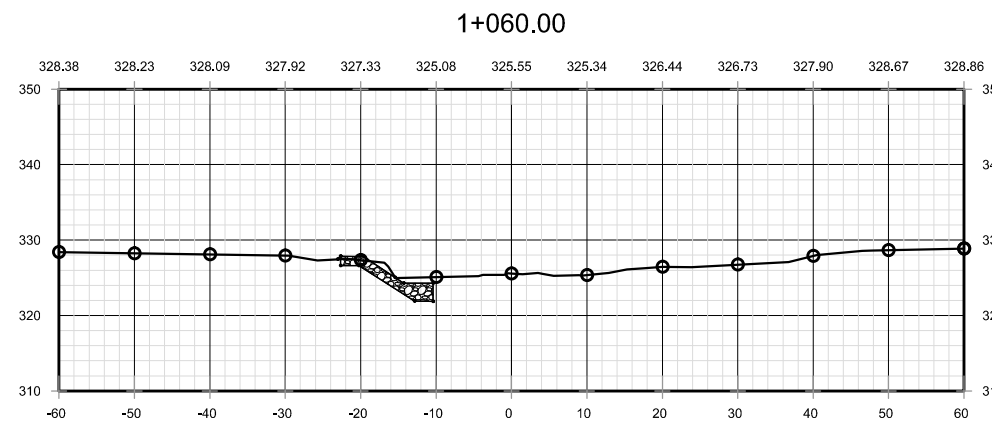
**Sección Transversal**  
Est. 1+040.00

Esc. 1/1000



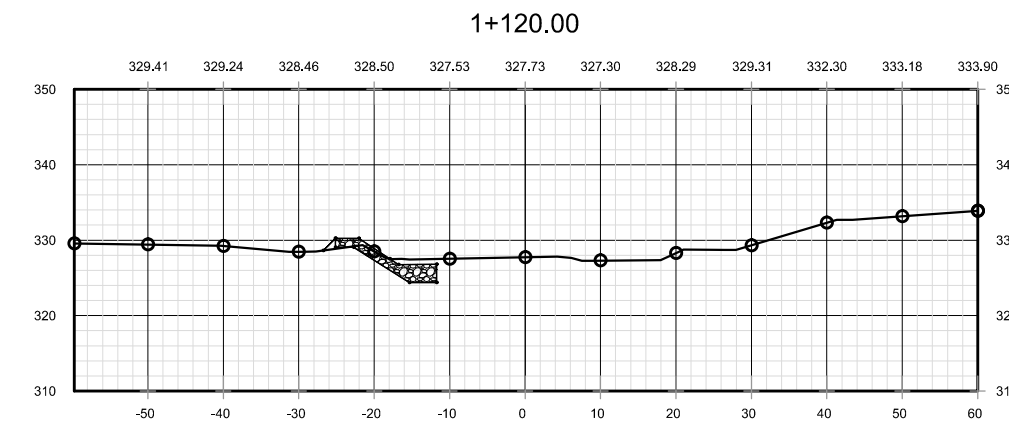
**Sección Transversal**  
Est. 1+100.00

Esc. 1/1000



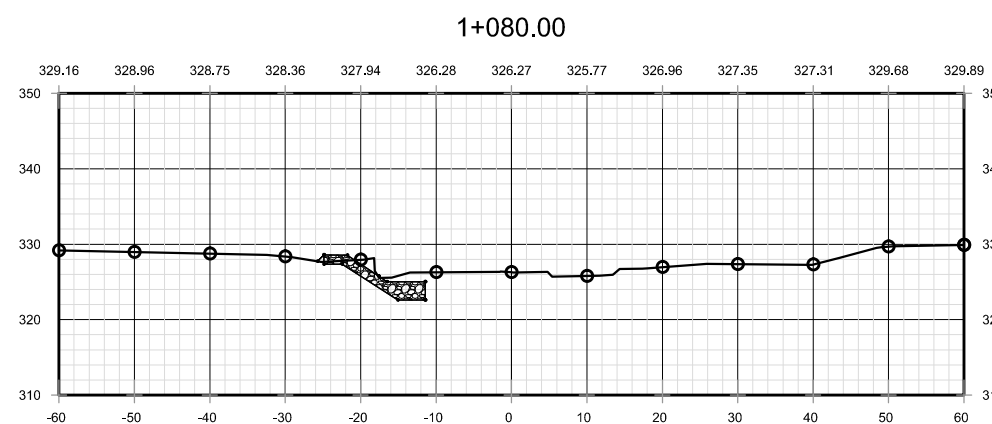
**Sección Transversal**  
Est. 1+060.00

Esc. 1/1000



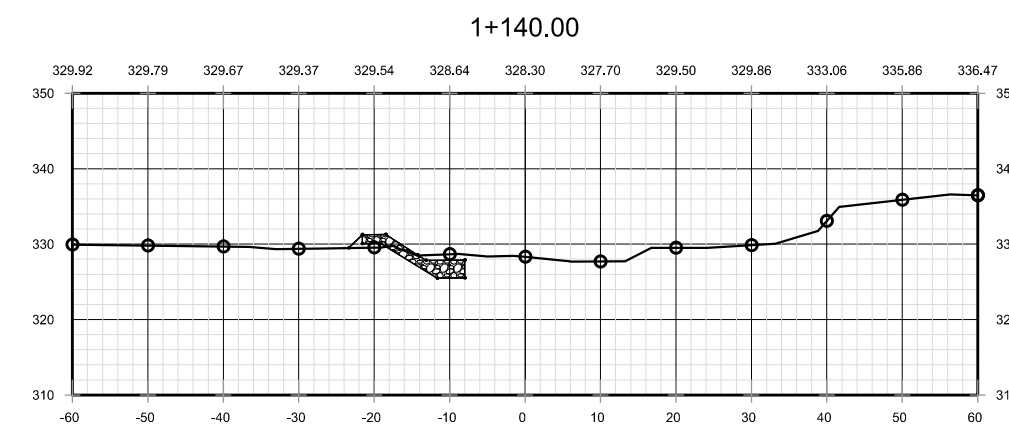
**Sección Transversal**  
Est. 1+120.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+080.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+140.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo: **Jorge Velásquez**

Revisó: **Ing. Claudio Castañón**

Plano de: **Secciones Transversales  
1+040.00 a 1+140.00**

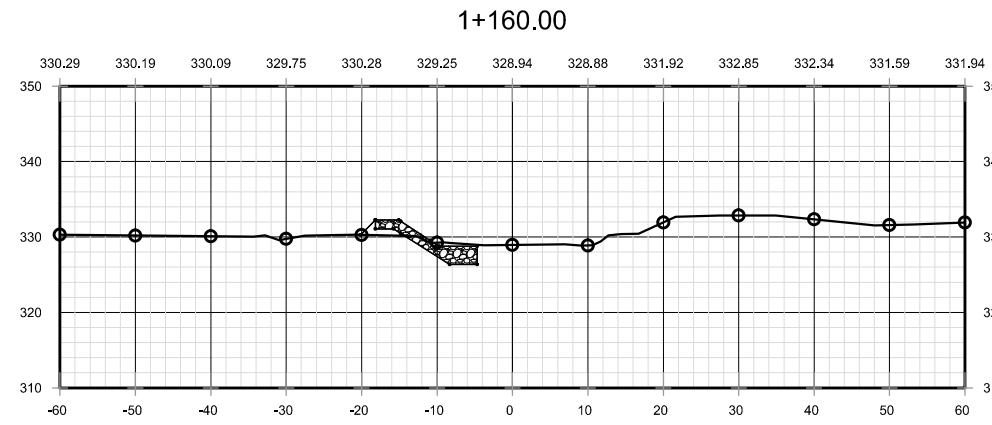
Fecha: **Octubre 2020**

Escala: **Indicada**

**HOJA No.**

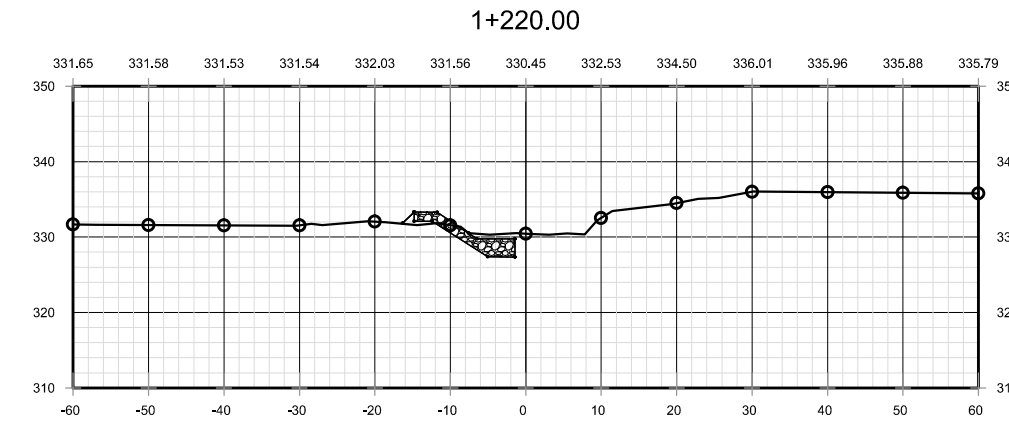
**19**

**23**



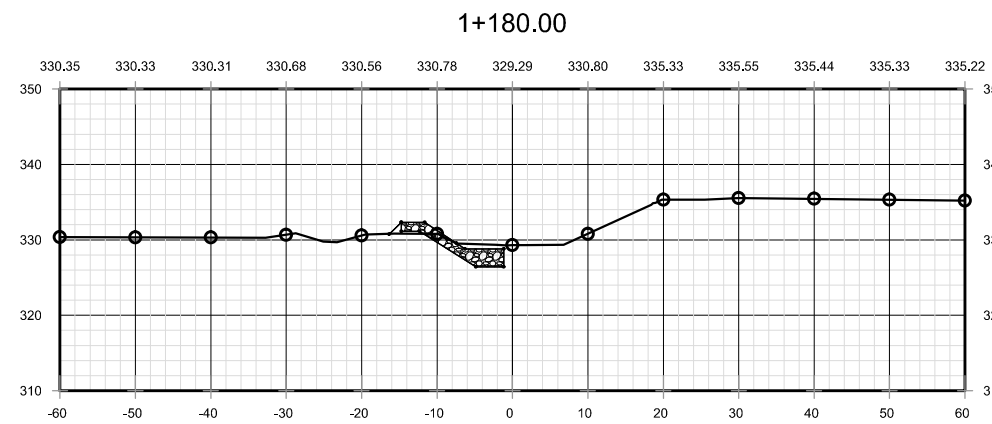
**Sección Transversal**  
Est. 1+060.00

Esc. 1/1000



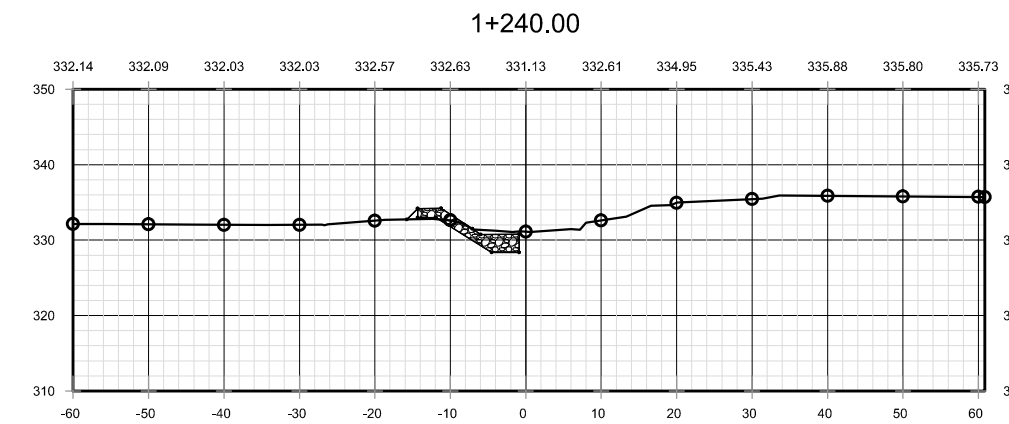
**Sección Transversal**  
Est. 1+220.00

Esc. 1/1000



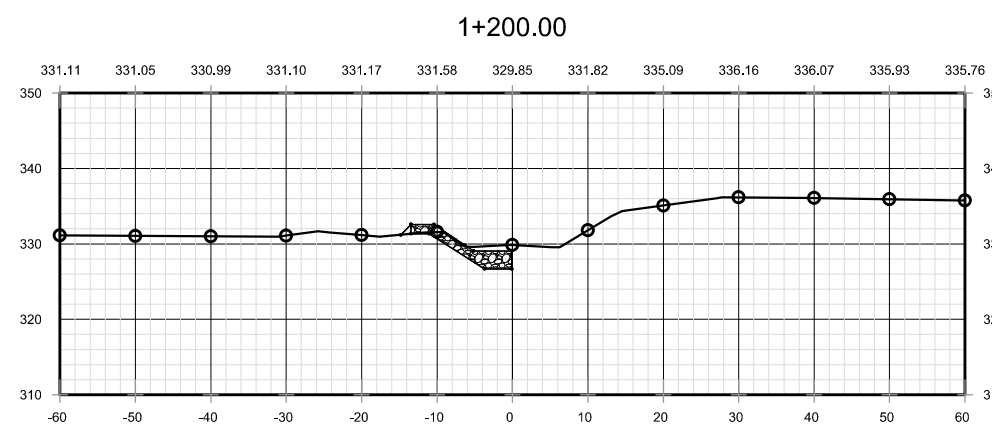
**Sección Transversal**  
Est. 1+180.00

Esc. 1/1000



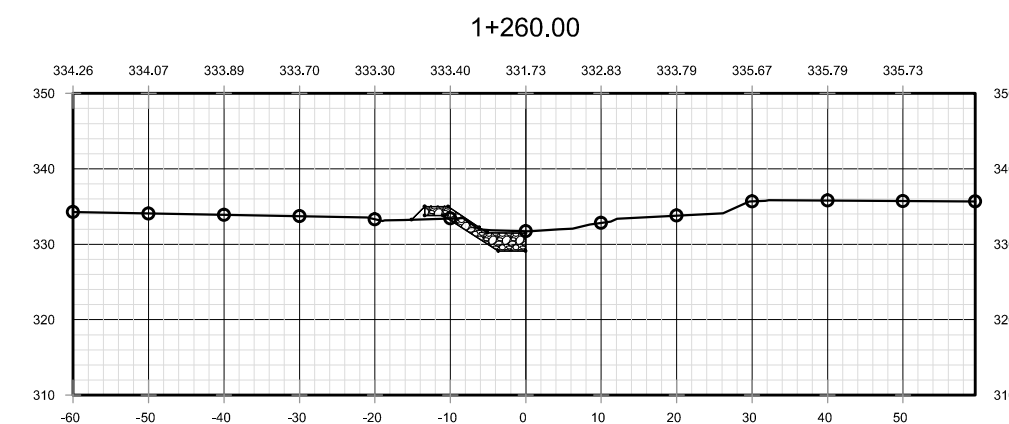
**Sección Transversal**  
Est. 1+240.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+200.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+260.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución : **Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo : **Jorge Velásquez**

Revisó : **Ing. Claudio Castañón**

Plano de :

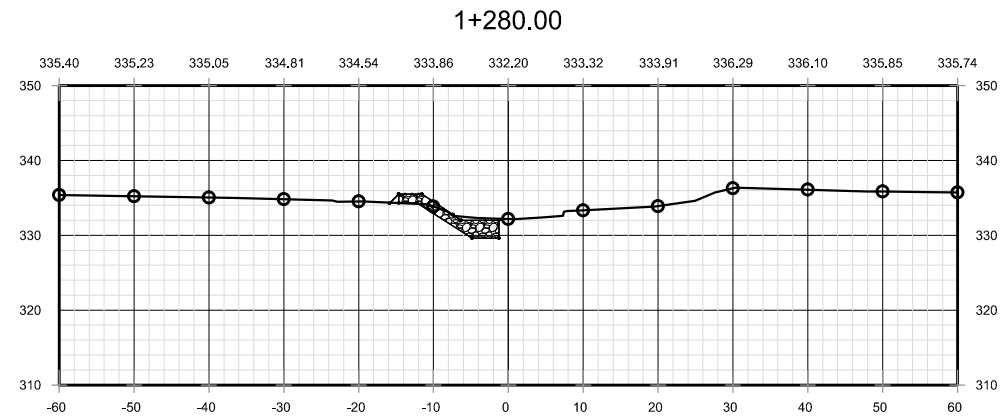
Fecha : **Octubre 2020**

Escala : **Indicada**

**Secciones Transversales 1+160.00 a 1+260.00**

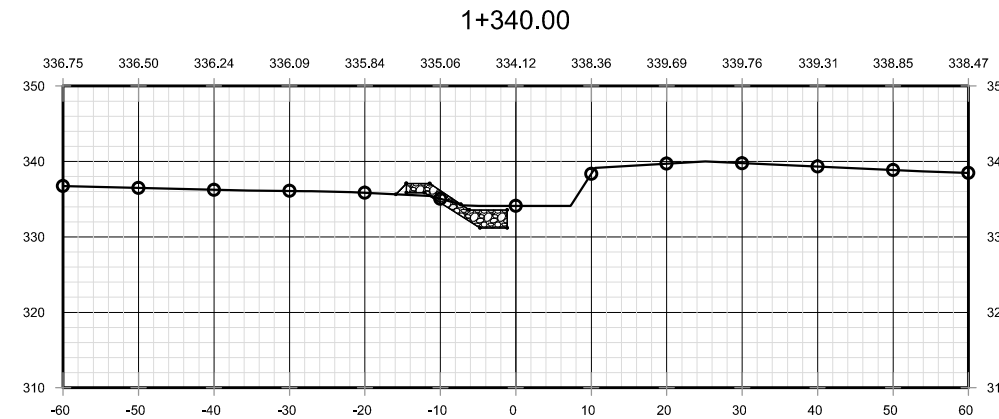
HOJA No.

**20**  
**23**



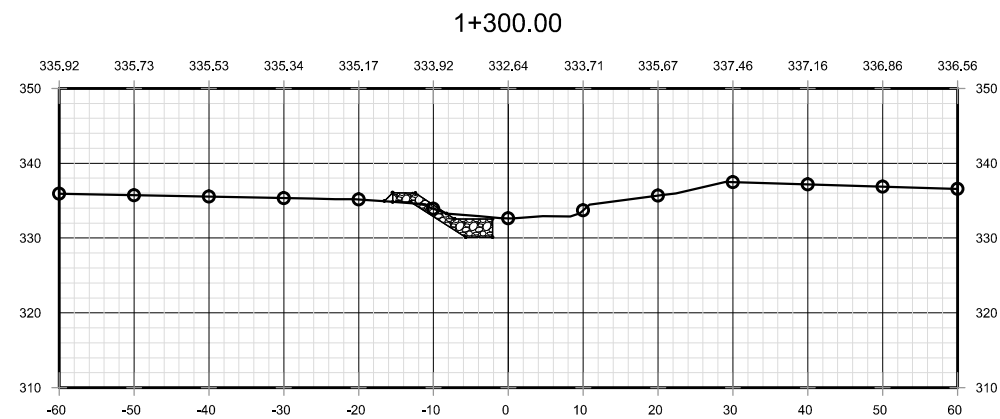
**Sección Transversal**  
Est. 1+280.00

Esc. 1/1000



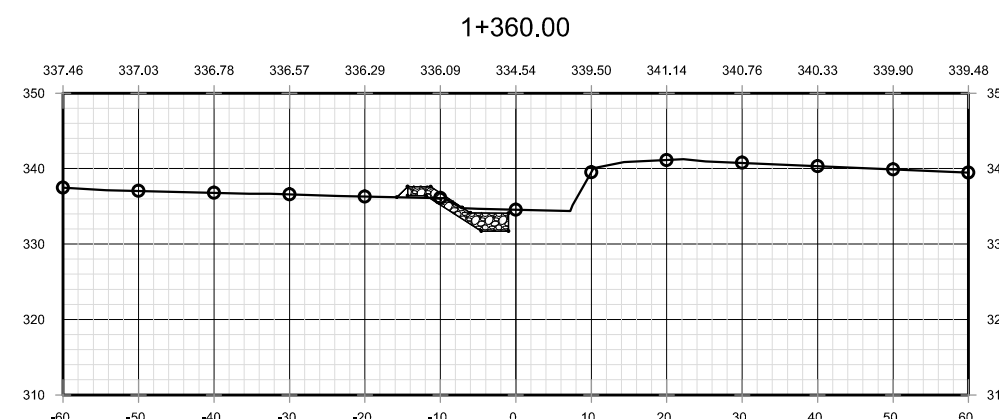
**Sección Transversal**  
Est. 1+340.00

Esc. 1/1000



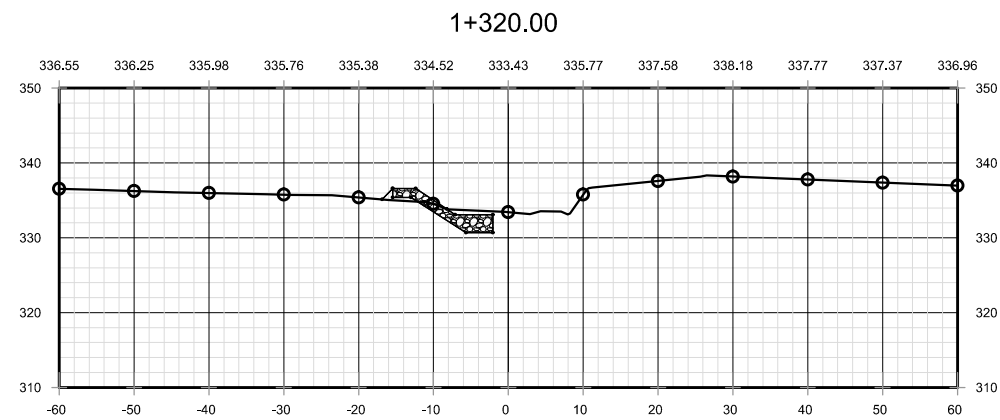
**Sección Transversal**  
Est. 1+300.00

Esc. 1/1000



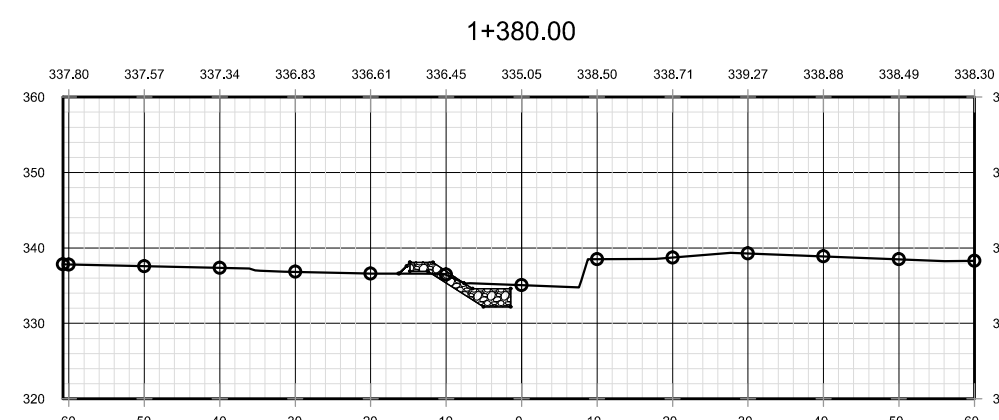
**Sección Transversal**  
Est. 1+360.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+320.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+380.00

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales  
1+280.00 a 1+380.00**

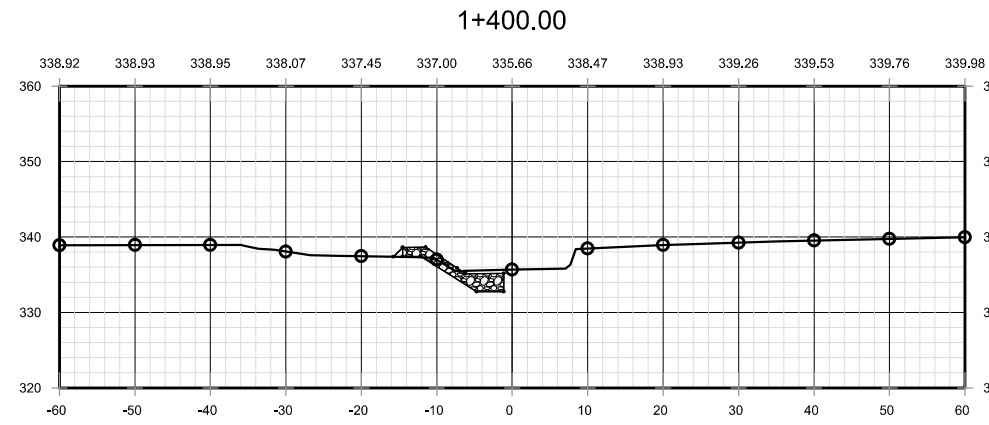
Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

HOJA No.

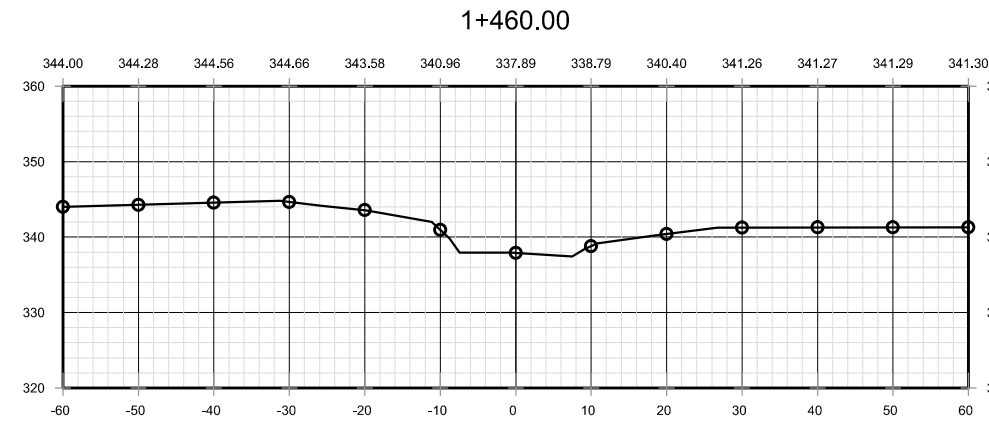
**21**

**23**



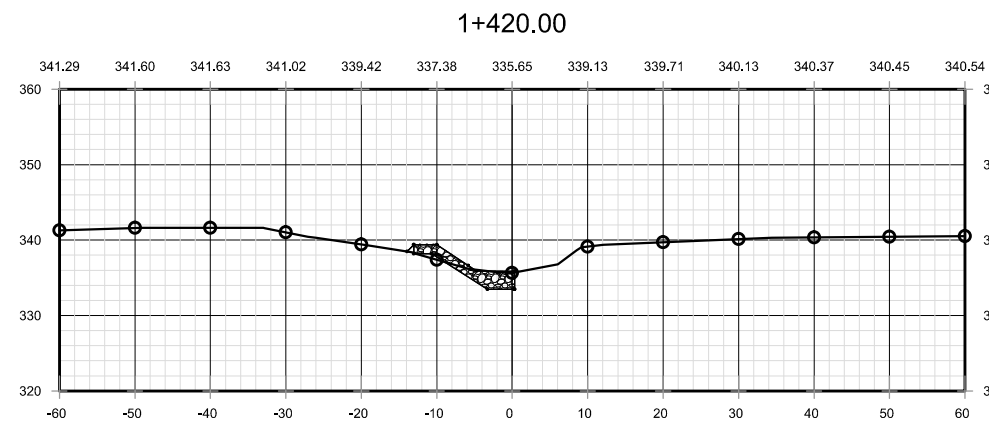
**Sección Transversal**  
Est. 1+400.00

Esc. 1/1000



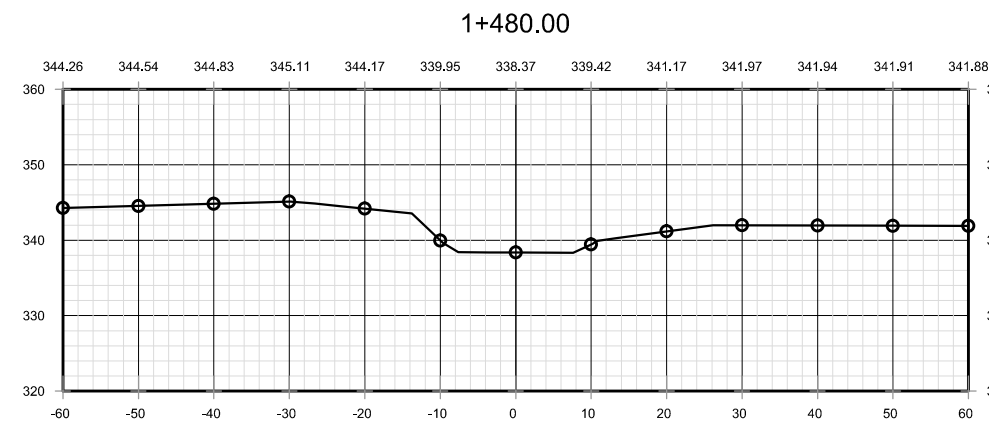
**Sección Transversal**  
Est. 1+460.00

Esc. 1/1000



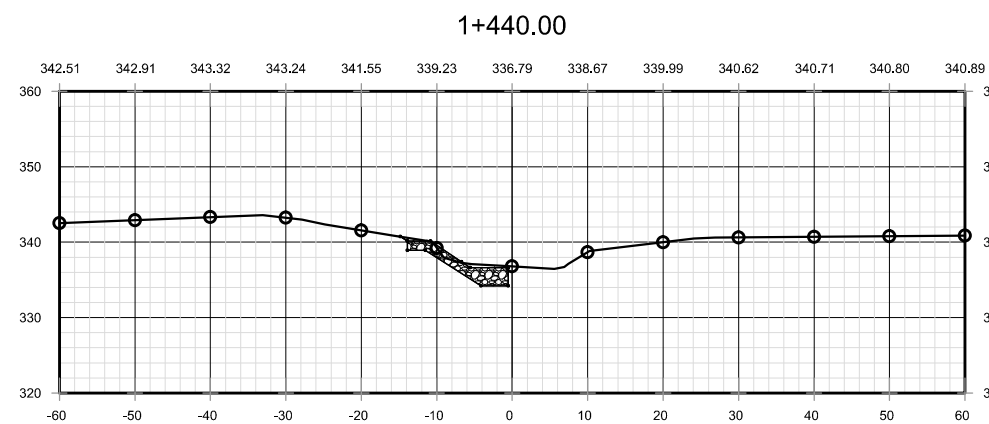
**Sección Transversal**  
Est. 1+420.00

Esc. 1/1000



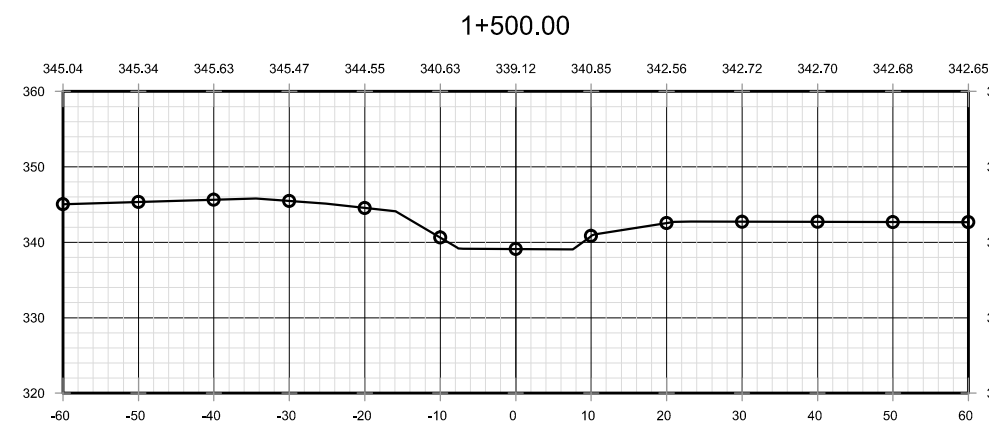
**Sección Transversal**  
Est. 1+480.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+440.00

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+500.00

Esc. 1/1000

1+400.00

1+520.00



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución **Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:

**Jorge Velásquez**

Revisó:

**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales 1+400.00 a 1+500.00**

Fecha:

**Octubre 2020**

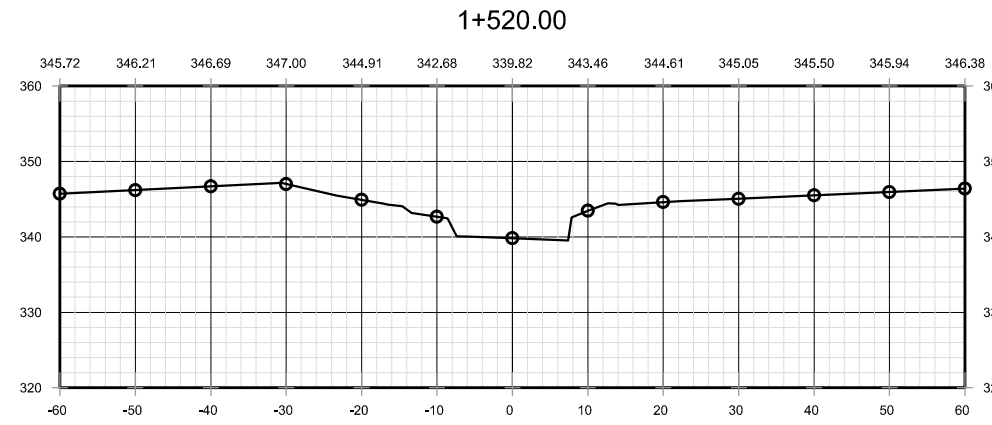
Escala:

**Indicada**

HOJA No.

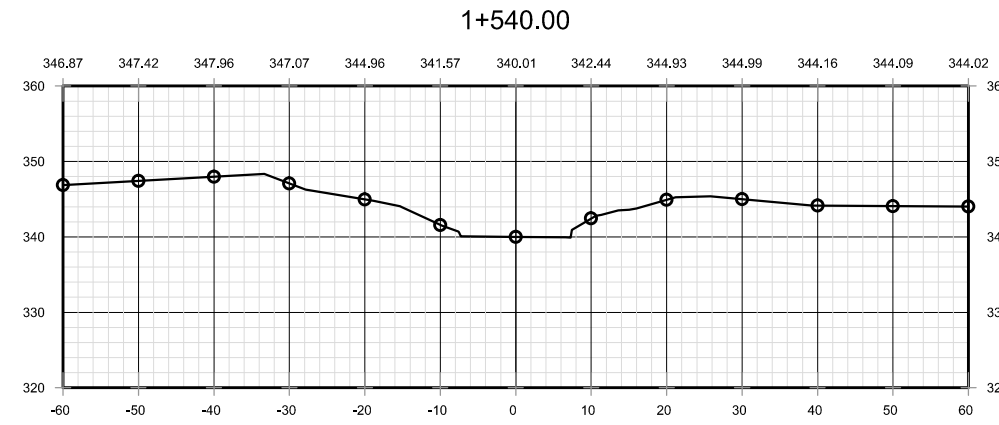
**22**

**23**



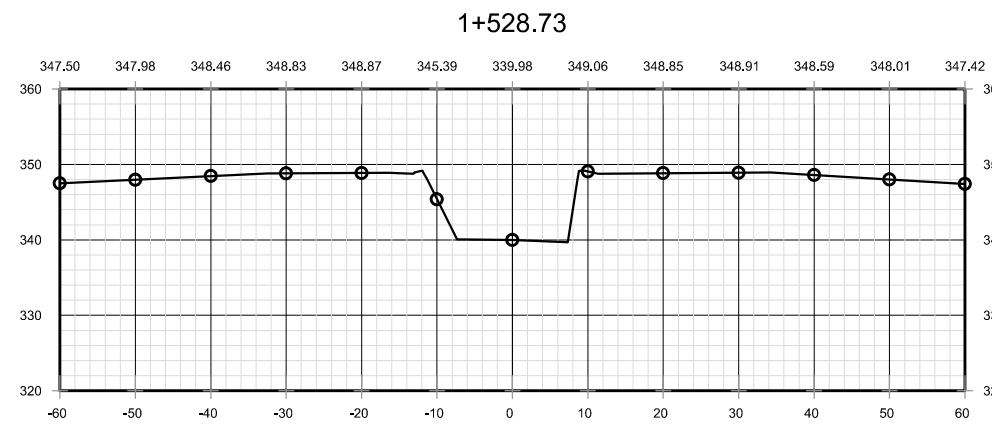
**Sección Transversal**  
Est. 1+520.00

Esc. 1/1000



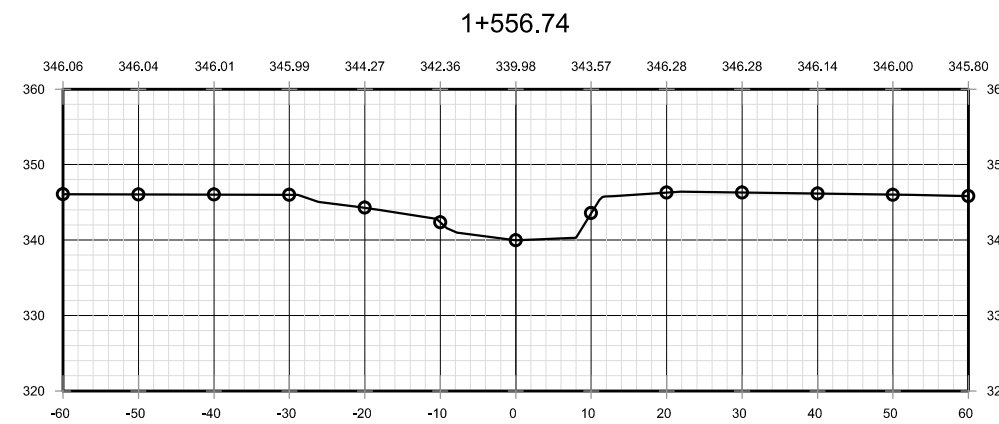
**Sección Transversal**  
Est. 1+540.00

Esc. 1/1000



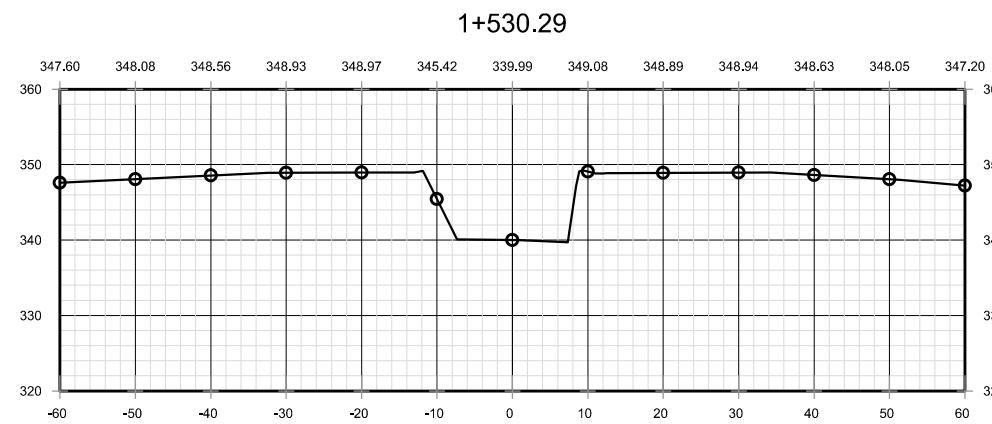
**Sección Transversal**  
Est. 1+528.73

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+556.74

Esc. 1/1000



**Sección Transversal**  
Est. 1+530.29

Esc. 1/1000



Proyecto : **Propuesta de Obras de Protección para Inundaciones en el Río Chitá desde el Puente de la Antigua Línea Férrea hasta el Puente Chitá, Mazatenango, Suchitepéquez**

Institución : **Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería**

Diseño / Cálculo / Dibujo:  
**Jorge Velásquez**

Revisó:  
**Ing. Claudio Castañón**

Plano de:

**Secciones Transversales  
1+520.00 a 1+556.74**

Fecha:  
**Octubre 2020**

Escala:  
**Indicada**

HOJA No.

**23**

**23**