UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

ESTUDIO HIDROTÉCNICO DE ALCANTARILLA EN EL PUNTO "LA VELAZQUEÑA", COMUNIDADES LOS VELÁZQUEZ Y LOS MERCADOS, LA CONCEPCIÓN-MASAYA.

Para optar al título de Ingeniero Civíl

Elaborado por

Br. Donald Antonio Blandón Monzón

Br. Mario Geovanny Moncada Moncada

Tutor

PhD.Ing. Néstor Javier Lanza Mejía

Asesor

Ing. Miguel Fonseca Chávez

Managua, octubre 2017

DEDICATORIA

A Dios Padre por darnos salud y vida, por ser quien perdona nuestros pecados, el ser que nunca nos defraudará, por darnos sabiduría para concluir esta etapa en nuestras vidas.

A nuestros padres, abuelos, familiares y amigos por darnos apoyo incondicional en todo el momento, que con mucho sacrificio y esfuerzo hicieron posible este triunfo.

A nuestros profesores por esforzarse día a día en compartir sus conocimientos y enseñanzas, por corregirnos y aconsejarnos, a todo personal de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por hacer de nosotros personas de bien, con excelente educación y formación académica.

Dedicamos este trabajo Monográfico a todos ellos, por hacer posible el cumplimiento de nuestra meta.

Br. Donald Antonio Blandón Monzón.

Br. Mario Geovanny Moncada Moncada.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, quiero agradecer a mis abuelitos: Natividad Monzón y María del Carmen Tinoco, por su cariño,confianza, consejos y su apoyo incondicional hacia mi persona, que hicieron posible el cumplimiento de este sueño.

Agradezco a toda mi familia, en especial a mis tíos Eddy y Carmen Monzón, quienes han sido seres incondicionales en mi vida, padres, consejeros, amigos y por ser las personas que me motivaran a cumplir mis metas.

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y bendiciones.

Un sincero agradecimiento, a mi profesor guía PhD. Ing. Néstor Lanza, por transmitirnos y entregarnos sus conocimientos, por su disposición para resolver las dudas y por motivarnos en el desarrollo de este tema monográfico.

También me complace agradecer a la Ing. Mayra Toruño, por su apoyo incondicional, dedicación, paciencia, tiempo y amistad, y sobre todo por su enseñanzas durante mi vida universitaria.

A mis amigos: Mario Moncada y Danilo Salguera; y de manera muy especial a la familia Espinoza Moncada, por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación, y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

Muchas gracias a todos los que hicieron que esto fuera posible.

Br. Donald Antonio Blandón Monzón.

Le agradezco a Dios por siempre estar a mi lado siendo el ser indispensable en mi vida por cuidar de mi, por acompañarme en los momentos de mayor dificultad tanto en mi trayecto universitario como en mi vida personal, agradecerle por darme la vida.

Agradecer sería poco a mis padres Mario Moncada y Neyda Moncada que con mucho esfuerzo y sacrificio han hecho de mi sueño una realidad, por estar a mi lado en momento difíciles, dándome ese apoyo incondicional, por eso y mucho más les agradezco infinitamente.

Agradecer a mis tíos Nidia Moncada y Rene Espinoza quienes me han brindado un hogar, que en todo momento me han tomado en cuenta como un hijo, les agradezco el apoyo incondicional, a mi abuela Hilda López que siempre estuvo atenta a lo que me faltara por ser como una madre para mí y uno de mis seres más queridos.

Quiero agradecer a nuestro guía PhD. Ing. Néstor Lanza Mejía, por estar siempre a disposición en todo momento, prestar de su tiempo para resolver nuestras dudas transmitiéndonos sus conocimientos que ayudaron mucho en este trabajo.

Me complace agradecer al Ing. Miguel Fonseca Chávez, por sus sugerencias y recomendaciones en todo el trascurso universitario por brindarme su confianza, amistad, conocimientos y enseñanzas, pero sobre todo por estar siempre dispuesto a ayudarme en inconvenientes y problemas que se me presentaron.

Un agradecimiento especial a mis compañeros y amigos Donald Blandón Monzón, Carlos Mario Cantillano y Kevin Velazquez, que siempre me apoyaron en los momentos más difíciles de la carrera, estando a disposición al problema que se me presentara sin importar lo difícil que fuese, pero sobre todo por brindarme su amistad.

Br. Mario Geovanny Moncada Moncada.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en el Estudio Hidrotécnico de alcantarilla en el punto “La Velazqueña” situado entre las comunidades Los Velázquez y Los Mercados, La Concepción, Masaya. Dicho punto es afectado durante periodos de lluvia y esto imposibilita en gran parte la comunicación de estas comunidades con el casco urbano de San Juan de La Concepción, lo cual afecta el comercio y desarrollo.

En consecuencia, se evidencia la necesidad de ejecutar una obra de cruce en este tramo, proponiéndose la elaboración de alcantarilla como alternativa de diseño a fin de mejorar la vía de comunicación existente entre estas comunidades.

Para el dimensionamiento de la alcantarilla de interés, se procedió primeramente a realizar el levantamiento topográfico y estudio de suelos para determinar el relieve y tipos de suelo que predominan en la zona.

Posteriormente se realizó el estudio hidrológico utilizando el software Arc-GIS obteniendo la delimitación de la cuenca en estudio. Seguidamente se obtuvieron las características morfométricas por medio del programa IDRISI Selva, dichos parámetros fueron fundamentales para el estudio de la cuenca.

Aplicando el programa HEC-HMS, se obtuvieron los caudales máximos probables con el fin de estimar las demandas de flujo de diseño de la obra. Por último, utilizando el programa HEC-RAS se efectuó la simulación hidráulica del cauce, y en base a los resultados y parámetros de diseño propuestos por el Marco Metodológico del MTI, se dimensionó la Sección Hidráulica más indicada acorde a las demandas de caudal.

Índice.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES……1

1.1 Introducción……...1

1.2 Antecedentes ……2

1.3 Justificación……4

1.4 Objetivos……5

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO……6

2.1 Estudio Hidrológico……6

2.1.1 Características Morfométricas de la cuenca……6

2.1.2. Estimación de Caudales utilizando el Método del Número de Curva del Soil Conservation Service (S.C.S)……..11

2.1.3 Método de Tránsito de Avenidas..……16

2.2 Estudio Hidráulico ..……20

2.2.1 Ecuación de Manning…….. 21

2.2.2 Coeficiente de Manning……21

2.2.3 Método de Cowan……21

2.2.4 Hidráulica de Alcantarilla……23

2.2.4.2 Emplazamiento de las secciones transversales relativas a la ubicación de una obra de cruce……..24

2.2.4.3 Tipos de Flujos en Alcantarillas…… 27

CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO……31

3.1 Reconocimiento del área de estudio ……32

3.2 Estudio Hidrológico ……..32

3.2.1 Delimitación de la Cuenca ……33

3.2.2 Obtención de las Características Morfométricas de la Cuenca: ……..33

3.2.3 División de la cuenca en sub-cuencas y creación del modelo de drenaje …33

3.2.4 Aplicación del Método del Número de Curva del Soil Conservation Service. 33

3.2.5 Creación del Modelo Hidrológico de Drenaje. ……34

3.2.6 Definición de Períodos de Retorno y Tormentas de Diseño ……34

3.2.7 Obtención de los Caudales Máximos Probables. ……34

3.3 Estudio Hidráulico. ……..35

3.3.1 Definición de la Geometría del Cauce Principal ……35

3.3.2 Definición de la Geometría de la Alcantarilla ……..35

3.3.3 Definición de los Perfiles de Flujo ……..35

3.3.4 Simulación Hidráulica ……36

3.3.5 Revisión de la Geometría de la Alcantarilla ……36

3.4 Elaboración de Planos de Propuesta Hidráulica de Dimensionamiento …….36

CAPÍTULO 4: ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SITIO ……38

4.1 Generalidades del Área de Estudio. ……38

4.1.1 Macro y Micro localización ……38

4.1.2 Localización y Limites. ……..39

4.1.3 Clima y Actividades Económicas Predominantes. ……..39

4.1.4 Población. ……39

4.1.5 Localidades. ……40

4.1.6 Vialidad y Transporte. ……...40

4.2 Ubicación del Punto de Cierre. ……41

4.3 Delimitación de la Cuenca Hidrográfica. ……...42

4.4 Obtención de las Características Morfométricas de la cuenca. ……..42

4.5 Modelo Hidrológico de Drenaje. ……47

4.6 Obtención del mapa de Número de Curva de la cuenca. ……48

4.7 Selección del Período de Retorno. ……...49

4.8 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. ……..49

4.9 Aplicación del Método de Bloques Alternos. ……51

4.10 Obtención de Caudales Máximos Probables ……..53

4.11 Interpretación de Resultados Hidrológicos. ……63

CAPÍTULO 5: ESTUDIO HIDRÁULICO DEL PROYECTO 65

5.1 Información Topográfica del Cauce. 65

5.2 Evaluación del Coeficiente de Manning. 65

5.3 Definición de Perfiles de Flujo. 66

5.4 Datos Generales demandados por HEC-RAS. 67

5.5 Simulación Hidráulica de la Obra Propuesta. 70

5.5.1 Propuesta Hidráulica. 70

5.5.2 Perfiles de Flujo del Cauce Principal. 70

5.5.3 Simulación en la Sección de la Alcantarilla. 72

5.5.4 Perspectiva del Cauce. 75

5.5.5 Resultados de Simulación Hidráulica de Alcantarilla. 77

5.5.6 Interpretación de Resultados Hidráulicos. 79

5.5.7 Revisión de los Parámetros de Diseño propuestos por el Marco Metodológico del MTI. 81

5.5.8 Aceptación de la Propuesta Hidráulica Planteada 82

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 83

6.1 Conclusiones. 83

6.2 Recomendaciones. 87

Referencias Bibliográficas. 88

ANEXOS. i

ANEXO A: Planteamiento del Problema. i

ANEXO B: Estudio de Suelos..... ii

ANEXO C: Mapas viii

ANEXO D: Planos. x

ANEXO E: Tablas. xi

ANEXO F: Simulación Hidráulica del Cauce generada por el Caudal de Diseño. xiv

ANEXO G: Simulación Hidráulica para un Período de Retorno de 100 años. ... xvii

ANEXO H: Fotografías. xix

Índice de Figuras.

Figura 2.1: Secciones Relativas a la Ubicación de una obra de cruce 24
Figura 2.2: Alcantarilla Tipo 1 (Salida Sumergida,Flujo Lleno) 27
Figura 2.3: Alcantarilla Tipo 2 (Salida no Sumergida, Flujo Lleno) 28
Figura 2.4: Alcantarilla Tipo 3 (Salida no Sumergida, Parcialmente Lleno) 28
Figura 2.5: Alcantarilla Tipo 4 (Salida no Sumergida, Flujo Sub-Crítico) 29
Figura 2.6: Alcantarilla Tipo 5 (Salida no sumergida, Flujo Supercrítico, Control a la Salida) 29
Figura 2.7: Alcantarilla Tipo 6 (Salida no sumergida, Flujo Supercrítico, Control a la Entrada) 30
Figura 3.1: Esquema Metodológico 37
Figura 4.1: Micro localización del Área de Estudio 38
Figura 4.2: Ubicación del Punto de Cierre 41
Figura 4.3: Cuenca delimitada en ARC-Gis 42
Figura 4.4: Perfil del Cauce Principal 45
Figura 4.5: Curva Hipsométrica Zonificada 46
Figura 4.6: Modelo Hidrológico de Drenaje 47
Figura 4.7: Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia 50
Figura 4.8: Hietograma de Tormenta para TR=10 años 51
Figura 4.9: Hietograma de Tormenta para TR= 25 años 51
Figura 4.10: Hietograma de Tormenta para TR= 50 años 52
Figura 4.11: Hietograma de Tormenta para TR= 100 años 52
Figura 4.12: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-940 53
Figura 4.13: Hidrograma Resultante Punto de Control 1..... 54
Figura 4.14: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-930 54

Figura 4.15: Hidrograma Resultante Punto de Control 2 55
Figura 4.16: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-900 55
Figura 4.17: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-1150 56
Figura 4.18: Hidrograma Resultante Punto de Control 3 56
Figura 4.19: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-1170 57
Figura 4.20: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-1160 57
Figura 4.21: Hidrograma Resultante Punto de Control 4 58
Figura 4.22: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-920 58
Figura 4.23: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR=25 años....59
Figura 4.24: Caudal Máximo Probable para TR= 25 años 59
Figura 4.25: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR= 10 años .. 60
Figura 4.26: Caudal Máximo Probabl:e para TR= 10 años 60
Figura 4.27: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR= 50 años .. 61
Figura 4.28: Caudal Máximo Probable para TR= 50 años 61
Figura 4.29: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR= 100 años..62
Figura 4.30: Caudal Máximo Probable para TR= 100 años 62
Figura 5.1: Perfil de Flujo generado por el Caudal Mínimo 71
Figura 5.2: Perfil de Flujo generado por el Caudal de Diseño 71
Figura 5.3: Perfil de Flujo generado por el Caudal Máximo Ordinario 72
Figura 5.4: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal Mínimo 72
Figura 5.5: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal Mínimo 73
Figura 5.6: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal de Diseño 73
Figura 5.7: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal de Diseño 74

Figura 5.8: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal Máximo Ordinario 74
Figura 5.9: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal Máximo Ordinario 75
Figura 5.10: Perspectiva de Flujo generada por el Caudal Mínimo 75
Figura 5.11: Perspectiva de Flujo generada por el Caudal de Diseño 76
Figura 5.12: Perspectiva de Flujo generada por el Caudal Máximo Ordinario ... 76

Índice de Tablas.

Tabla 2.1: Clases de tamaños de cuencas 6

Tabla 2.2: Clases de valores de compacidad 7

Tabla 2.3: Clases de valores de forma 8

Tabla 2.4: Clases de valores de masividad 8

Tabla 2.5: Clases de valores de longitudes de cauce principal 9

Tabla 2.6: Clases de valores de elevación media 9

Tabla 2.7: Clases de valores de pendiente del cauce principal 10

Tabla 2.8: Grupos Hidrológicos de Suelos 11

Tabla 2.9: Valores de CN para diferentes usos de suelo 12

Tabla 2.10: Frecuencias de Diseño Recomendadas 13

Tabla 2.11: Valores del Coeficiente de Manning 22

Tabla 2.12: Rangos de coeficientes de Expansión 25

Tabla 2.13: Rangos de coeficientes de Contracción 27

Tabla 4.1: Características Morfométricas de la Cuenca 43

Tabla 4.2: Información de la División de la Cuenca 48

Tabla 4.3: Valores de CN y Lag Time para cada sub-cuenca 48

Tabla 4.4: Intensidades de Lluvia para diferentes Períodos de Retorno 50

Tabla 4.5: Resumen de Caudal 64

Tabla 5.1: Evaluación de Campo del Cauce 66

Tabla 5.2: Cálculo del Coeficiente de Manning 66

Tabla 5.3: Datos de Entrada para la Sección de Alcantarilla 68

Tabla 5.4: Elevación de la Rasante Aguas Arriba 69

Tabla 5.5: Elevación de la Rasante Aguas Abajo 69

Tabla 5.6: Resultados de Simulación Hidráulica de Alcantarilla 77

Tabla 5.7: Resultados de Simulación Hidráulica en el Cauce Principal 78

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción

La función primordial de una obra de cruce, es dar continuidad a una carretera, de tal manera que se evacúen las corrientes de agua generadas, evitando daños mayores a la red vial. Para la ejecución de un proyecto de obra de cruce, intervienen distintos estudios, que en su primera fase corresponden los del tipo hidrológico e hidráulico, esto es lo que conocemos como Estudio Hidrotécnico.

Las comunidades Los Velázquez y Los Mercados, se encuentran ubicadas en el municipio de La Concepción, Masaya. Estos sitios tienen en común, un punto crítico que imposibilita el tráfico durante los eventos de precipitación. De acuerdo al Instituto de Estudios Territoriales (INETER), esta zona pertenece a la cuenca #69 (cuenca del Río San Juan) y a la vertiente del mar Caribe.

La importancia de este estudio se centró en diseñar una obra de cruce que facilite el tránsito vehicular durante la época lluviosa, y comunique a las comunidades mencionadas con el casco urbano de San Juan de La Concepción, garantizando el flujo comercial de artesanías, cítricos y otras frutas como piña y pitahaya.

Con el fin de generar una solución al problema de comunicación vial, se presenta este tema monográfico, que fue dividido en dos partes fundamentales:

1. Estudio hidrológico: Se centró en el cálculo del caudal máximo probable que ocurre en el punto crítico, por medio de los programas: Arc-GIS, IDRISI Selva y HEC-HMS.

2. Estudio hidráulico: Se centró en diseñar una obra de cruce, que responde a las demandas de caudal, utilizando el programa HEC-RAS.

1.2 Antecedentes

A lo largo de los años, la evolución de la ingeniería ha sido influenciada por las condiciones variantes del entorno. Efectos como el cambio climático, dificultan cada vez más la aplicación de las teorías existentes. Consecuentemente, durante los últimos 30 años se han adoptado diferentes estrategias de diseño, las que incluyen el diseño con computadora, usando programas como Arc-GIS, AUTOCAD, etc.

Uno de los elementos esenciales para el desarrollo de la economía de un país es su infraestructura vial. En Nicaragua, gran parte de la producción agrícola está localizada en áreas rurales, cuyos caminos constituyen la única vía para el transporte de productos y movilización de la población en general. Al no existir carreteras, es más difícil la distribución de la producción nacional lo que conlleva a la ralentización de la economía rural, es decir su movimiento económico.

Actualmente Nicaragua en su Red Vial Nacional posee cerca de 3,000 estructuras de puentes con valor aproximado a 800 millones de dólares, casi todas construidas en el siglo XX. El ente regulador de este sector es el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), específicamente administrada por el Sistema de Administración de Puentes de la Oficina Diagnóstico y Evaluación de Estructuras de Puentes, el cual comenzó a funcionar a partir de octubre de 2001.

El MTI en 2008, publicó el Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Mayor y Menor, donde se estipulan requerimientos técnicos e ingenieriles de Obras de Cruce, además recomiendan el método de Tránsito de Avenidas como método de cálculo de Caudal para cuencas mayores a 5 km^2.

Un estudio realizado en el año 2012, contempla el Ordenamiento Territorial del Municipio de La Concepción, Masaya. Dicho estudio, indica que las microcuencas principales del municipio presentan áreas que oscilan entre 3 hasta 19 km^2, además los tiempos de concentración oscilan entre 0.4 horas hasta 1.8 horas.

Por lo demás no se poseen datos estadísticos de campo ni teóricos, que muestren una mejor información acerca de la zona estudio, por cuanto no ha habido estudios anteriores al que se estará realizando durante esta investigación monográfica.

En cuanto a temas monográficos similares, en la Universidad Nacional de Ingeniería se posee registro de 5 monografías correspondientes a Estudios Hidrotécnicos, 2 en el año 2007, 2 en el año 2013 y 1 en el año 2014.

1.3 Justificación

Durante el período lluvioso se registran fuertes daños en la red vial de todo el país, en este caso específicamente en el municipio de La Concepción, departamento de Masaya. Éstos se perciben notablemente, ya que dificultan la circulación de vehículos y peatones que a diario utilizan las obras de cruce de drenaje mayor (puentes).

La importancia del proyecto se centró en diseñar una obra hidráulica que comunica las comunidades: Los Velázquez y Los Mercados con el casco urbano de San Juan de La Concepción, de tal manera que facilite el paso seguro de los vehículos durante la época lluviosa. La mayor problemática radica en la falta de acceso tanto vehicular como peatonal, ya que el tránsito se complica durante el invierno.

Resultó de sumo interés realizar el estudio hidrotécnico en esta zona, debido a que es la primera fase para la futura construcción de la obra de drenaje. Al llevarse a cabo este proyecto, se beneficiarán 600 familias que habitan en estos sectores, las cuales representan un fuerte potencial económico para la comunidad, principalmente en la comercialización de artesanías, cítricos y otras frutas como piña, pitahaya.

Desde esta perspectiva, el proyecto se orientó a la realización de un estudio hidrológico y uno hidráulico, como procesos previos para la construcción de la obra de drenaje que responde a las demandas de caudal originadas a causa de las precipitaciones, y así genere una solución al problema de comunicación mencionado.

1.4 Objetivos

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio hidrotécnico de alcantarilla en el punto La Velazqueña, comunidades: Los Velazquez y Los Mercados.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características morfométricas de la cuenca por medio de Arc-GIS e IDRISI Selva.

- Calcular el caudal máximo probable utilizando el método de Tránsito de Avenidas por medio de HEC-HMS.

- Dimensionar hidráulicamente la obra de cruce que responda a las demandas de caudal, haciendo uso del software HEC-RAS.

- Elaborar planos de la propuesta hidráulica de dimensionamiento por medio del programa AUTO-CAD.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Estudio Hidrológico.

La Hidrología trata de la estimación de los caudales máximos probables determinados por eventos de precipitación. El diseño hidrológico busca interpretar y cuantificar esos fenómenos, con el fin de proporcionar un soporte a estudios, proyectos y obras de ingeniería hidráulica, de infraestructura y de medio ambiente.

La cuenca hidrográfica es la unidad básica en el estudio hidrológico, que depende de un punto llamado Punto de Cierre, donde su sistema de drenaje converge en ese punto. La cuenca hidrográfica se define como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios. (Aparicio Mijares)

2.1.1 Características Morfométricas de la cuenca.

2.1.1.1 Área (A): El área es la medida de la superficie de drenaje, y es la variable más utilizada para el cálculo de los parámetros hidrológicos, que consecuentemente son dependientes de ella.

Tabla 2.1:Clases de tamaños de cuencas.

Clases de tamaño de cuencas (km^2).		
Rangos de áreas		Clases de tamaño
25	250	Pequeña
250	500	Intermedia-Pequeña
5000	2500	Intermedia-Grande
2500	5000	Grande
5000	10000	Muy Grande

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.2 Perímetro (P): Es la longitud de la línea del borde la cuenca, medida en proyección horizontal. Este parámetro, por sí solo no brinda ninguna información respecto al tamaño o forma de la cuenca, a menos que comparemos cuencas de igual superficie.

2.1.1.3 Índice de Compacidad: Se define como la relación del perímetro de la cuenca, con la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca.

$$Ic = 0.28\frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 2.2: Clases de valores de compacidad.

Clases de valores de compacidad		
Rangos de I_c		Clases de compacidad
1.0	1.25	Redonda a Oval redonda
1.25	1.5	De Oval redonda a Oval Oblonga
1.5	1.75	De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.4 Rectángulo Equivalente: "Este índice es introducido para poder comparar la influencia de las características de la cuenca sobre la escorrentía. La característica más importante del rectángulo equivalente es que tiene igual distribución de alturas que la curva hipsométrica de la cuenca" (Lanza Mejia).

$$L = \frac{{}^{P}/_{2} + \sqrt{{}^{P^2}/_{4} - 4A}}{2}\ (km)$$

$$l = \frac{{}^{P}/_{2} - \sqrt{{}^{P^2}/_{4} - 4A}}{2}\ (km)$$

2.1.1.5 Factor de Forma: Este factor permite comparar la cuenca con un rectángulo, que la iguala en superficie. “El factor de forma es igual a la unidad cuando la cuenca es un cuadrado, y disminuye de acuerdo al grado de alargamiento” (Magette).

Tabla 2.3: Clases de valores de forma.

Clases de valores de forma		
Rangos de I_c		Clases de compacidad
0.01	0.18	Muy poca achatada
0.18	0.36	Ligeramente achatada
0.36	0.54	Moderadamente achatada

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.6 Coeficiente de Masividad: Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de una cuenca y su superficie.

$$Km = \frac{Altura\ media\ de\ la\ cuenca\ (m)}{Área\ de\ la\ cuenca(km^2)}$$

Tabla 2.4: Clases de valores de masividad.

Clases de valores de masividad		
Rangos de K_m		Clases de masividad
0	35	Muy montañosa
35	70	Montañosa
70	105	Moderadamente montañosa

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.7 Longitud del Cauce Principal: Este parámetro representa la longitud medida del cauce que posee el mayor orden de drenaje y el mayor recorrido en la cuenca.

Tabla 2.5: Clases de valores de longitudes del cauce principal.

Clases de valores de longitudes del cauce principal (Km)		
Rangos de longitud		Clases de longitud del cauce
6.9	10.9	Corto
11	15.0	Mediano
15.1	19.1	Largo

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.8 Elevación Media: La Elevación Media de una cuenca, es importante en relación con la temperatura y la lluvia.

$$Em = \frac{\sum(Hi * Ai)}{Ac}$$

Donde:

- Hi: Altura media entre dos curvas de nivel consecutivas.
- Ai: Superficie entre dos curvas de nivel consecutivas.

Tabla 2.6: Clases de valores de elevación media.

Clases de valores de elevación media		
Rangos de elevación en msnm		Clases de elevación
500	2000	Baja
2000	2400	Moderada
2400	2700	Alta

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.9 Altura Máxima (Hmáx): Es la elevación máxima del punto más remoto del cauce principal donde se inicia el escurrimiento de agua.

2.1.1.10 Altura Mínima (Hmín): Es la elevación del punto de control de cada sub-cuenca.

2.1.1.11 Pendiente del cauce principal: Este parámetro es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta, para pendientes altas se esperan flujos supercríticos, y sub-críticos para pendientes suaves. Se calcula de la siguiente manera.

$$Sc = \frac{Hmáx - Hmín}{L}$$

Tabla 2.7:Clases de valores de pendiente del cauce principal.

Clases de valores de pendiente del cauce principal (m/m)		
Rangos de pendiente		Clases
0.01	0.05	Suave
0.06	0.11	Moderada
0.12	0.17	Fuerte

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

2.1.1.12 Curva Hipsométrica: "Es la representación gráfica del relieve de una cuenca, o sea, es el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar (msnm)." (Lanza Mejia)

Este parámetro, también permite definir las características fisiográficas de las cuencas hidrográficas, tales como definir las zonas altas, media y baja de la cuenca.

2.1.2. Estimación de Caudales utilizando el Método del Número de Curva del Soil Conservation Service (S.C.S).

El (Soil Conservation Service, 1974) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta, mejor conocido como método del número de curva o método de la curva número. La clave para la aplicación del método es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial. Para su evaluación se utilizan parámetros en función del tipo y uso de suelo, uso de suelo y pendiente de la cuenca.(Sanchez).

2.1.2.1 Determinación de los Parámetros para el Cálculo del Caudal utilizando el Método del Número de Curva del S.C.S.

- **Curve Number (CN):** (Chow,1998) argumenta que el número de curva (CN) representa un valor adimensional que varía entre 0 y 100, según sea su capacidad de generar escorrentía superficial; valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy altas, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad.

El S.C.S recomienda la siguiente clasificación:

Tabla 2.8: Grupos Hidrológicos de Suelos.

Grupo de Suelo	Descripción	Razón final de infiltración (mm/h)
A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.	8 a 12
B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.	4 a 8
C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.	1 a 4
D	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.	Incluye 0 a 1

Fuente: (Chow, Hidrología Aplicada., 1994,p.153)

El (Soil Conservation Service, 1974), recomienda la siguiente clasificación de acuerdo a los diferentes usos de suelo.

Tabla 2.9: Valores de CN para diferentes usos de suelo.

Número de Curva de escorrentía para uso selecto de tierra agricola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia=0,2S)						
Descripcion del uso de la tierra.			**A**	**B**	**C**	**D**
Tierra Cultivada	Sin tratamientos de conservación		72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres		68	79	86	89
	Condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de Ríos	Condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena.		45	66	77	83
			25	55	70	77
Áreas abiertas	Césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. optimas condicones, cubierta de pasto en el 75% o mas		39	61	74	80
			49	69	79	84
Areas comerciales de negocios (85% impermeables)			89	92	94	95
			81	88	91	93
Residencial	Tamano promedio del lote	Porcentaje				
	1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
	1/4 acre	38	61	75	83	87
	1/3 acre	30	57	72	81	86
	1/2 acre	25	54	70	80	85
	1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados. Techos, accesos, etc.			98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentadas con cunetas y alcantarillado		98	98	98	98
	Grava		76	85	89	91
	Tierra		72	82	87	89

Fuente: (Chow, Hidrología Aplicada., 1994,p.154)

- **Intensidad de Lluvia:** La intensidad de lluvia es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo.

  Este parámetro se obtiene por medio de una lectura directa, en las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, utilizando como abscisa el tiempo de concentración expresado en horas.

- **Período de Retorno:** El período de retorno de un evento con una magnitud dada, puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud específica.

Tabla 2.10: Frecuencias de Diseño Recomendadas.

Frecuencias de Diseño Recomendadas (años).						
	Diseño					Revisión Flujo
Clasificación Funcional de Carreteras	2	5	10	25	50	100
Troncal Principal:						
Alcantarillas de paso				X	X	X
Alcantarillas de Alivio			X			X
Puentes Grandes					X	X
Puente-Vado					X	X
Troncal Secundaria:						
Alcantarillas de Paso				X		X
Alcantarillas de alivio			X			X
Puentes Pequeños				X	X	X
Puente-Vado				X	X	X
Colectora Principal:						
Alcantarillas de paso				X		X
Alcantarillas de alivio			X			X
Puentes Pequeños				X	X	X
Puente-Vado			X	X		X
Colectora Secundaria						
Alcantarillas de paso				X		X
Alcantarillas de alivio			X			X
Puentes Pequeños			X	X		X
Puente-Vado		X	X			X
Caminos Vecinales						
Alcantarillas de paso			X	X		X
Alcantarillas de alivio			X			X
Puentes Pequeños				X	X	X
Puente-Vado	X	X				X

Fuente: Marco Metodológico del MTI (2008)

- **Tiempo de Concentración:** Es el tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. Se calcula aplicando la fórmula del Método del Proyecto Hidrometeoro lógico Centroamericano.

$$tc = 0.0041\left(\frac{3.28\ L}{\sqrt{Sc}}\right)^{0.77}$$

Donde:

  - tc: Es el tiempo de Concentración expresado en horas.
  - L: Es la longitud del cauce principal expresada en Kilómetros.
  - Sc: Es la pendiente del cauce principal expresada en m/m.

- **Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia:** Son curvas que resultan de unir dos puntos representativos de intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondiente todos ellos a una misma frecuencia o períodos de retorno.

- **Tasa de Infiltración:** Se expresa en centímetros por hora, es la tasa a la cual el agua entra al suelo en la superficie.

- **Hidrograma Triangular Sintético:** Se genera a partir de los datos del tiempo de concentración (tc) o tiempo pico (tp) y el caudal pico obtenido por el método antes descrito. Se establece el criterio que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración de la cuenca o sub-cuenca, que a la vez es el tiempo pico del Hidrograma.

- **Gráfico del Hidrograma Triangular Sintético:** Se grafican los datos en el papel milimetrado o mediante herramientas de computación, definiendo la ordenada para los valores de caudal y la abscisa para el tiempo.

2.1.2.2 Método del bloque alterno.

Los métodos de diseño hidrológico desarrollados hace muchos años tales como el método racional, solo utilizaban el caudal pico. No existía consideración alguna sobre el tiempo de distribución del caudal o sobre la distribución temporal de la precipitación.

Sin embargo, los métodos de diseño desarrollados recientemente utilizan el análisis de flujo no permanente y requieren de predicciones más confiables del hietograma de diseño para obtener los hidrogramas de diseño. El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia.

Secuencia lógica de aplicación del método del bloque alterno, propuesta por (Chow):

1. Seleccionar el período de retorno de diseño.
2. Realizar lecturas de la intensidad de lluvia en las curvas idf para duraciones Δt, $2\Delta t$, $3\Delta t$,…,$n\Delta t$.
3. Encontrar la profundidad de precipitación, multiplicando la intensidad de lluvia y la duración.
4. Encontrar la cantidad de precipitación, que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt, tomando entre valores sucesivos de profundidad de precipitación.
5. Ordenar los incrementos o bloques en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha e izquierda del bloque central, para formar el hietograma de diseño.

2.1.3 Método de Tránsito de Avenidas.

El Método Racional, considera que la lluvia es constante en el tiempo y en el espacio. Por tal razón, su uso se restringe a cuencas pequeñas menores a 5 km^2, como lo establece el Marco Metodológico del MTI (2008).

El Método de Tránsito de Avenidas se aplica a cuencas mayores a los 5 km^2, para transitar el Hidrograma obtenido en el punto de control de una subcuenca, hacia el próximo punto de control sobre el cauce principal de la cuenca.

"El Tránsito permite amortiguar los caudales atraves del tiempo con el propósito de simular la condición de flujo en el cauce del río" (Lanza Mejía)

2.1.3.1 Bases del Método de Tránsito de Avenidas.

- Se origina de las fórmulas de Saint-Venant.
- No se consideran Fuerzas Hidrodinámicas.
- No se puede aplicar cuando hay un remanso.
- No se debe aplicar cuando el agua del río ocupa un cauce irregular.

2.1.3.2 Variante de Muskingum.

La aplicación del Método de Tránsito de Avenidas en la variante de Muskingum, se realiza de la siguiente manera.

Con un valor asumido de X; un valor calculado de K y un valor de t igual al tiempo medio de concentración de las sub-cuencas incluidas en un tramo en particular, se obtienen los valores de los coeficientes de rugosidad (C_0, C_1, C2); los valores de I que se usan se tabulan y los productos C_0I_2 y C_1I_1 se calculan.

Con un valor inicial de O estimado, se realiza el producto C_2O_1, luego los tres productos se suman, para obtener O_2. El valor calculado de O_2, se transforma en O_1 para el siguiente período de análisis, y puede determinarse un valor de O_2.

Este proceso se detiene, en el instante que O_2 es igual a 0, significa que todo el Hidrograma ha sido transitado.

La ecuación de Muskingum es la siguiente:

$$\mathbf{O_2 = C_0I_2 + C_1I_1 + C_2O_1}$$

Donde:

- O_2: Caudal de salida al momento del cauce.
- I_2: Caudal de Entrada al momento del tránsito.
- O_1: Caudal de salida un instante antes del tránsito
  - .
- I_1: Caudal de entrada un instante antes del tránsito.
- C_0, C_1, C_2: Coeficientes de rugosidad.

2.1.3.3 Determinación de los Parámetros del Tránsito.

- **Velocidad del Tránsito:** Para el primer tránsito, es la velocidad del flujo en la primera sub-cuenca. Se calcula con la fórmula de la velocidad:

$$V_t = \frac{L}{t_c}$$

Donde:

- V: Es la velocidad del tránsito expresada en m/min.
- L: Es la longitud del cauce expresada en m.
- tc: Es el tiempo de concentración expresado en minutos.

Si dos o más sub-cuencas convergen en el punto que se inicia el tránsito, la velocidad será el promedio aritmético de las velocidades de flujo en cada sub-cuenca.

$$V_t = \frac{1}{n}[V_1 + V_2 + \cdots + V_n]$$

Donde:

- n: Es la cantidad de sub-cuencas, que convergen en el punto que se inicia el tránsito.

Para el segundo tránsito y los posteriores, la velocidad es el promedio aritmético considerando la velocidad del flujo en cada sub-cuenca, que converge en el punto donde se inicia el tránsito, incluida la velocidad de los tránsitos realizados hasta dicho punto.

$$V_t = \frac{1}{x}[V_1 + V_2 + \cdots + V_{t(realizado)}]$$

Donde:

- x: Representa la cantidad de datos a sumar.

- **Longitud del Tránsito (L_t):** Representa la distancia entre dos puntos de control consecutivos, medida sobre el cauce principal de la cuenca.

- **Tiempo de Retardo (K):** Representa el desfase entre el tiempo pico a transitar, y el tiempo pico del hidrograma transitado.

$$K = \frac{L_t}{V_t}$$

Donde:

- K: Es el tiempo de retardo expresado en minutos.
- Lt: Es la longitud del tránsito de la sub-cuenca.
- Vt: Es la velocidad del tránsito a realizar.

- **Tiempo de Hidrograma a Transitar:** Es el cociente que resulta de dividir, como mínimo dos tiempos picos del hidrograma a transitar. Si al menos uno de los coeficientes de rugosidad es negativo o cero, el tiempo pico se divide por 3, 4,5…n veces hasta obtener coeficientes de rugosidad positivos.

- **Coeficientes de Rugosidad:** Los coeficientes de rugosidad deben de cumplir las siguientes condiciones:

    1. Todos los coeficientes de rugosidad deberán ser mayores a 0.
    2. La sumatoria de los coeficientes de rugosidad, deberá ser igual a 1, es decir

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

Se calcularan con las siguientes fórmulas:

$$C_0 = -\frac{(KX - 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

$$C_1 = \frac{(KX + 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

$$C_2 = \frac{(K - KX - 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

Donde:

- K: Es el tiempo de retardo expresado en minutos.
- t: Es el tiempo de Hidrograma a Transitar.
- X: Expresa la importancia relativa de las entradas y salidas del flujo al tramo en el almacenamiento. Para cauces efímeros se utiliza un valor de 0.20.

2.1.3.4 Secuencia lógica en la aplicación del método.

- **Tránsito del hidrograma del primero al segundo punto:**

  El procedimiento se realiza de aguas arriba hacia aguas abajo, partiendo del primer punto de control y utilizando el hidrograma triangular sintético en este punto. Si dos o más sub-cuencas convergen en dicho punto, se hará una suma de hidrogramas triangulares sintéticos y el hidrograma resultante se transita hacia el segundo punto de control.

  El tránsito se concluye, cuando el caudal de salida alcanza el valor de cero.

- **Suma de Hidrogramas en el segundo punto.**

  Se suma el hidrograma transitado y el hidrograma triangular sintético de las sub-cuencas que convergen en el segundo punto. El hidrograma suma se obtiene colocando los tiempos de los hidrogramas a sumar en orden cronológico ascendente, respecto al caudal.

  Se prosigue la secuencia lógica del método, hasta finalizar los cálculos en el punto de interés de la cuenca.

2.2 Estudio Hidráulico.

El Estudio Hidráulico requiere la inclusión de la geometría de las secciones transversales y la granulometría de los suelos, a partir de las cuales se obtienen los parámetros hidráulicos de las secciones para el cálculo de las condiciones de flujo analizadas.

La Resistencia al flujo se modela mediante el coeficiente de Manning, el cual puede ser variado a lo ancho de la sección transversal y a lo largo del tramo analizado.

2.2.1 Ecuación de Manning.

La ecuación de Manning es la siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} A R_H^{2/3} S_0^{1/2}$$

Donde:

- Q: Es el caudal expresado en mcs.
- n: Es el coeficiente de Manning.
- R_H: Es el Radio Hidráulico expresado en metros.
- S_0: Es la pendiente del canal expresada en m/m.

2.2.2 Coeficiente de Manning.

Con el nivel de conocimiento actual, seleccionar un valor de n significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinada. Sin embargo, se presenta un método aceptable para realizar la estimación de n, conocido como Método de Cowan. (Chow).

2.2.3 Método de Cowan.

Reconociendo varios factores primarios que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan desarrolló un método para la evaluación de n.

La ecuación de Cowan es la siguiente:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5$$

Donde:

n: Es el coeficiente de Manning.

n_0: Valor básico para un canal recto y uniforme de material dado.

n_1: Corrige el efecto por irregularidades de la superficie.

n_2: Considera variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal del canal.

n_3: Considera el efecto de obstrucción u obstáculos al flujo.

n_4: Depende de la vegetación.

m_5: Depende de la sinuosidad longitudinal del canal

El profesor Ven Te Chow presenta la siguiente ayuda para el cálculo del coeficiente de Manning.

Tabla 2.11: Valores del Coeficiente de Manning.

Condiciones del canal		Valores	
Material Involucrado	Tierra	n_0	0.045
	Corte en roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

2.2.4 Hidráulica de Alcantarilla.

El tipo de alcantarilla deberá ser elegido en cada caso teniendo en cuenta el caudal a evacuar, la naturaleza y la pendiente del cauce; y el costo en relación con la disponibilidad de los materiales

2.2.4.1 Criterios de Diseño.

El Manual para Revisión de Estudios Hidrotécnicos del Marco Metodológico del MTI, presenta los siguientes criterios de diseño para alcantarillas:

- La dimensión mínima interna de las alcantarillas deberá ser la que permite su limpieza y conservación. Para el caso de las alcantarillas de paso es deseable que la dimensión mínima sea por lo menos 762 mm (30”), para las alcantarillas de alivio pueden ser aceptables diámetros no menores a 600 mm (24”).

- La selección del material de las alcantarillas varía en relación a las condiciones ambientales del sitio como puede ser la alta salinidad cerca de las zonas costeras marítimas, la acidez de los suelos y las condiciones de transporte debido al peso y condiciones de los caminos. Entre los materiales que se están utilizando se tienen:

    a) Tubos de Concreto Reforzado: Deben cumplir con los requisitos de la AASHTO MI 70.

    b) Tubos de metal corrugado calibre mínimo 14: Responderá a la norma AASHTO M-190.

    c) Tubo de Cloruro de Polivinilo (PVC): Debe cumplir con los requisitos AASHTO M-34, M-94.

    d) Tubo de Polietileno Corrugado: Debe cumplir con los requisitos AASHTO M-252, M-96 Y M-294.

- El relleno encima de la alcantarilla o cobertura mínima de terreno para caminos parcelarios es de 0.60m y para cruces con la panamericana de 0.9m.

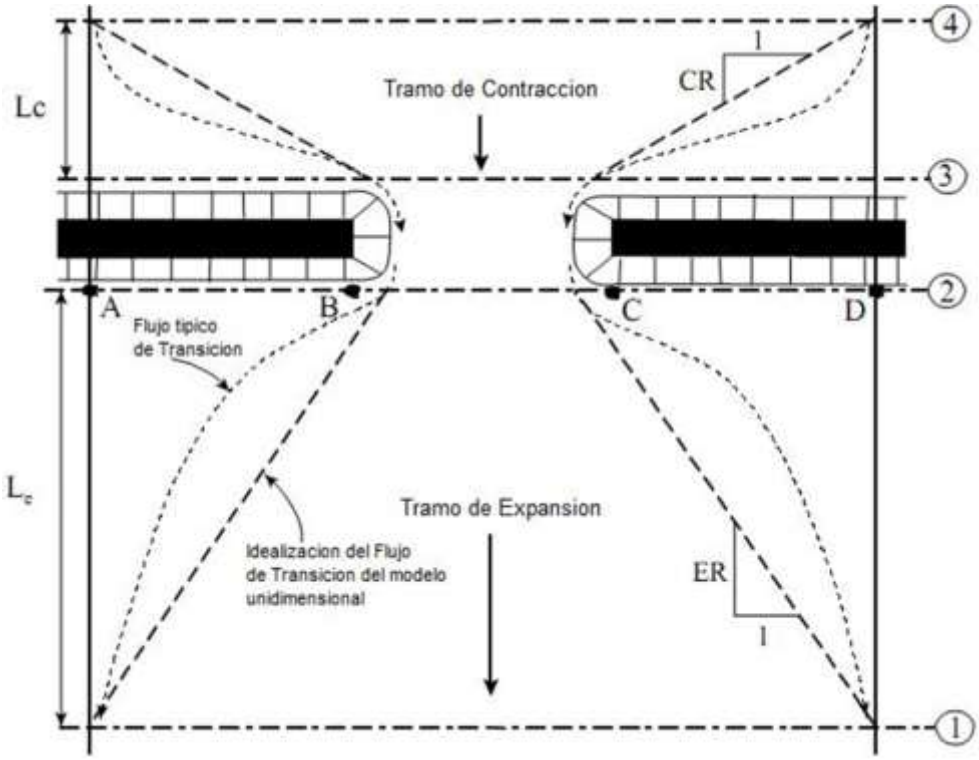
- La pendiente longitudinal de la alcantarilla no debe ser menor al 1.0%, para evitar azolvamientos.

2.2.4.2 Emplazamiento de las secciones transversales relativas a la ubicación de una obra de cruce.

La construcción de una alcantarilla, implica que en ocasiones se invada parte del cauce debido al estrechamiento de su sección transversal, produciéndose cambios en la velocidad del flujo y en la pendiente de la línea de energía.

Varias secciones se estudian teóricamente a lo largo de la zona de influencia de una obra de cruce, dichas secciones se muestran en la siguiente figura:

Figura 2.1 Secciones Relativas a la ubicación de una obra de cruce



Fuente: (Lanza Mejía N. J., 2012,p.16).

- **Primera Sección Transversal (1-1).**

  Esta sección es localizada suficientemente aguas debajo de la estructura, de tal manera que esta no afecta su régimen de flujo. En esta sección se inicia la expansión del flujo con un régimen gradualmente variado restaurado, y se reestablecen las condiciones de flujo uniforme.

- **Longitud de Expansión:** Representa la distancia entre el extremo de aguas abajo del puente y la primera sección transversal, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_e = RE * L_{obs}$$

Donde:

L_e: Longitud de expansión(m).

RE: Razón de expansión, se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 2.12: Rangos de coeficientes de Expansión.

		nob nc = 1	nob nc = 2	nob nc = 4
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 – 3.6	1.3 – 3.0	1.2 – 2.1
	5 ft/mile	1.0 – 2.5	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
	10 ft/mile	1.0 – 2.2	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
b/B = 0.25	S = 1 ft/mile	1.6 – 3.0	1.4 – 2.5	1.2 – 2.0
	5 ft/mile	1.5 – 2.5	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
	10 ft/mile	1.5 – 2.0	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
b/B = 0.50	S = 1 ft/mile	1.4 – 2.6	1.3 – 1.9	1.2 – 1.4
	5 ft/mile	1.3 – 2.1	1.2 – 1.6	1.0 – 1.4
	10 ft/mile	1.3 – 2.0	1.2 – 1.5	1.0 – 1.4

Fuente: (Lanza Mejía N. J., 2012,p.17)

Donde:

- n_{ob}: valor de Manning para la planicie de inundación
- n_c: valor de Manning para el canal principal
- b: ancho de la apertura del puente
- B :ancho total de la zona de inundada

- S : pendiente, pie/milla
- S_0: pendiente de fondo del cauce
- **L_{obs}:** Longitud promedio de obstrucción lateral de la obra.

La longitud promedio de obstrucción lateral de la obra, está definida como la mitad de la reducción total en la planicie de inundación. (Lanza Mejía), se calcula mediante la siguiente expresión.

$$L_{obs} = \frac{\overline{AB} + \overline{CD}}{2}$$

- **Segunda Sección Transversal (2-2).**

  En esta sección es donde empieza a ocurrir el retardo del flujo. Aguas abajo de esta sección se presentan remolinos de agua entre las fronteras sólidas del terraplén y las laderas.
  Esta sección se ubica a 2 metros de distancia, aguas abajo del tablero de la alcantarilla.

- **Tercera Sección Transversal (3-3).**

  Esta sección refleja la longitud requerida para la aceleración abrupta y contracción del flujo, que ocurre en el área inmediata de la abertura de la obra.

  Esta sección representa la planicie de inundación, y se ubica a 3 metros de distancia aguas arriba del tablero de la alcantarilla.

- **Cuarta Sección Transversal (4-4).**

  Es la sección aguas arriba hasta donde influye el remanso y posiblemente termina el flujo uniforme en el cauce de aproximación y comienza un flujo gradualmente variado.

- **Longitud de Contracción:** Representa la distancia entre el extremo de aguas arriba del puente y la cuarta sección transversal (4-4), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_c = RC * L_{obs}$$

Donde:

- **L_c:** Longitud de contracción(m).
- **L_{obs}:** Longitud promedio de obstrucción lateral de la obra.
- **RC**: Razón de contracción, se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 2.13: Rangos de Coeficiente de Contracción.

Rangos de coeficiente de razon de contraccion (RC)			
	$n_{ob}/n_c = 1$	$n_{ob}/n_c = 2$	$n_{ob}/n_c = 4$
S = 1 pie/milla	1.0 – 2.3	0.8 – 1.7	0.7 – 1.3
S = 5 pie/milla	1.0 – 1.9	0.8 – 1.5	0.7 – 1.2
S = 10 pie/milla	1.0 – 1.9	0.8 – 1.4	0.7 – 1.2

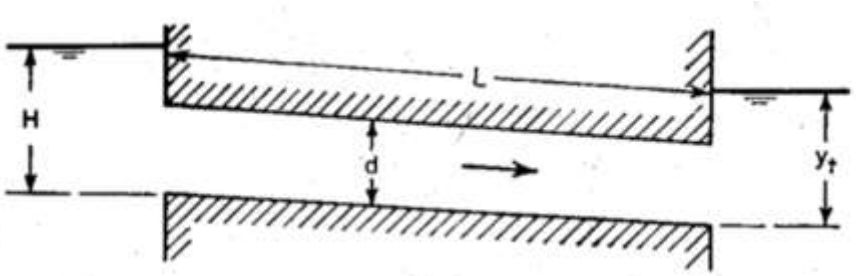
Fuente: (Lanza Mejía N. J., 2012,p.20)

2.2.4.3 Tipos de Flujos en Alcantarillas.

Las características de flujo son muy complicadas, debido a que éste es controlado por muchas variables, incluidos la geometría del canal, la pendiente, el tamaño, la rugosidad, las condiciones de profundidad de aproximación y de salida,etc.

- **Alcantarilla Tipo 1. (Salida sumergida, flujo lleno)**

Figura 2.2: Alcantarilla Tipo 1.



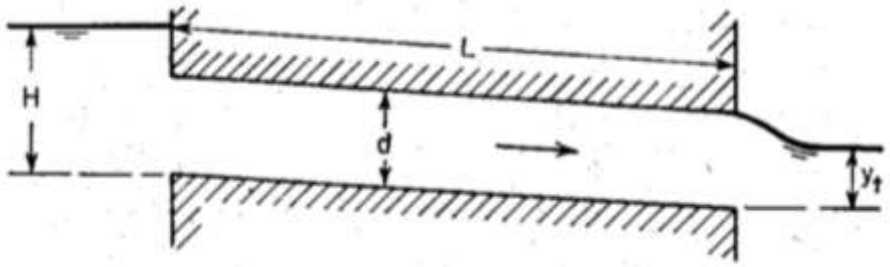
Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

La Alcantarilla trabaja como una tubería con entrada y salidas ahogadas, es decir se tiene una alcantarilla que trabaja a flujo lleno, se cumplen las siguientes condiciones:

- H > d.
- Yt > d.

- **Alcantarilla Tipo 2. (Salida no sumergida, flujo lleno)**

Figura 2.3: Alcantarilla Tipo 2.



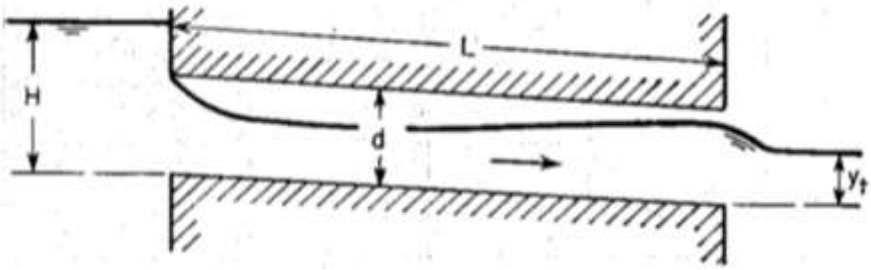
Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

La Alcantarilla trabaja como una tubería con entrada ahogada y salidas con flujo lleno, se cumplen las siguientes condiciones:

- H > H*.
- Yt < d.

- **Alcantarilla Tipo 3. (Salida no sumergida,Parcialmente lleno)**

Figura 2.4: Alcantarilla Tipo 3



Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

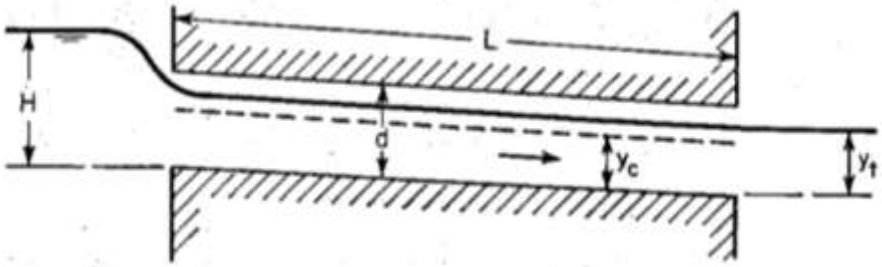
.

La Alcantarilla trabaja como una tubería con entrada ahogada y salidas con flujo parcialmente lleno, se cumplen las siguientes condiciones:

- H > H*.
- Yt < d.

- **Alcantarilla Tipo 4. (Salida no sumergida,flujo sub-crítico)**

Figura 2.5: Alcantarilla Tipo 4.



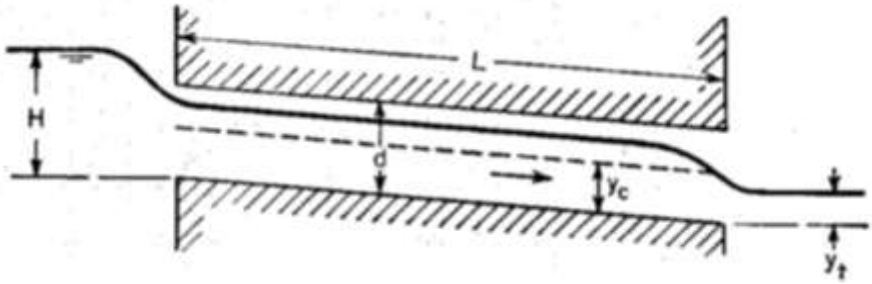
Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

“La alcantarilla funciona como un canal de pendiente suave, en régimen subcrítico, y por tanto se tendrá un tirante crítico en la sección de entrada” (E.Lorenzo), se cumplen las siguientes condiciones:

- H < H*.
- Yt > Yc.

- **Alcantarilla Tipo 5. (Salida no sumergida,Flujo supercrítico, Control a la salida).**

Figura 2.6: Alcantarilla Tipo 5.



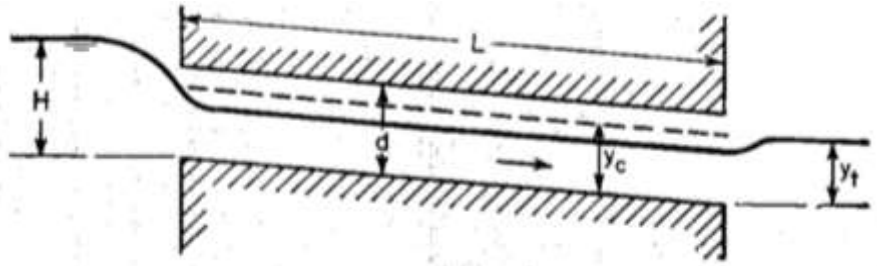
Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

La alcantarilla funciona como un canal de pendiente fuerte, en régimen supercrítico con caída libre en la salida , y por tanto se tendrá un tirante crítico en la sección de salida, se cumplen las siguientes condiciones:

- H < H*.
- Yt < Yc.

- **Alcantarilla Tipo 6. (Salida no sumergida,Flujo supercrítico, Control a la entrada).**

Figura 2.7: Alcantarilla Tipo 6.



Fuente: “Hidráulica de Canales Abiertos” Ven Te Chow.

La alcantarilla funciona en régimen supercrítico, sin alcanzar el tirante crítico en ninguna sección, se cumplen las siguientes condiciones:

- H < H*.
- Yt < Yc.

CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO

Esta investigación, según el tiempo de ocurrencia fue prospectiva, puesto que el diseño de la obra de cruce dependió de todos los valores calculados en el desarrollo de la investigación.

Según el alcance de los resultados, la investigación fue del tipo descriptiva, ya que se detallaron los procedimientos para el diseño de un proyecto de drenaje, así como el cálculo de los parámetros necesarios para de obtener las dimensiones de la obra.

El enfoque de esta investigación, fue del tipo cuantitativo, porque se tomaron en cuenta valores numéricos tales como los datos de precipitación que influyen en la zona y también se obtendrán valores de área de la cuenca, caudal que transita, y otros parámetros que tienen un enfoque numérico.

El área de estudio donde se realizó esta investigación se localiza en las comunidades Los Velásquez y Los Mercados, en el municipio de La Concepción, departamento de Masaya.

El primer método de investigación utilizado fue el método deductivo**,** a causa de que se abordaron conocimientos de hidrología referente a los parámetros de morfométricos de una cuenca y otros relacionados con la hidráulica de las obras de cruce.

A través del método de análisis, se identificaron y procesaron los resultados obtenidos durante el estudio, desde clasificar la cuenca en relación a su tamaño, forma, etc., hasta definir el tipo de diseño hidráulico pertinente.

El método de síntesis, es el que nos condujo de manera clara y ordenada a la redacción de las conclusiones, dependientes de los resultados obtenidos.

Programación por medio de Software:

Para cumplir los objetivos planteados inicialmente, utilizaron diversos programas de computadora, los cuales poseen una gran utilidad en este tipo de estudios. Entre los Softwares requeridos se mencionan el Arc-GIS, IDRISI Selva, SAS Planet, Google Earth, HEC-HMS y finalmente HEC-RAS.

Es necesario señalar que también se emplearon los programas de la gama Office, tal como Microsoft Word y Microsoft Excel, que aunque no son programas especializados, estos fueron de gran apoyo para realizar múltiples cálculos requeridos en el proceso.

A continuación, se especifican las diferentes fases necesarias, para alcanzar los objetivos planteados.

3.1 Reconocimiento del área de estudio.

Primordialmente se realizó un reconocimiento del área, para lograr una mejor percepción de los problemas producidos en la zona, y obtener una visión de lo que acontece. De la misma manera se realizó la georreferenciación del punto de estudio.

Fue necesario obtener la información de las secciones transversales del cauce y estudio de suelos, tanto aguas arriba como aguas abajo del lugar proyectado como punto de cierre. Estos datos fueron solicitados por el programa HEC-RAS, durante el proceso de simulación hidráulica.

3.2 Estudio Hidrológico: El estudio hidrológico del proyecto, se realizó utilizando los softwares: Arc-GIS, IDRISI Selva y HEC-HMS, la metodología a utilizar, será la siguiente.

3.2.1 Delimitación de la Cuenca: Para la delimitación de la cuenca, primeramente se georreferenció el punto de cierre en coordenadas UTM WGS-1984, luego se ubicó en el Modelo de Elevación Digital y se procedió a aplicar las herramientas de Arc-GIS, para crear la delimitación de la cuenca hidrográfica.

3.2.2 Obtención de las Características Morfométricas de la Cuenca: Posterior a la delimitación de la cuenca, se exportó la capa Fil y la cuenca al programa IDRISI Selva, y se procedió a aplicar las funciones y herramientas del software, de esta manera se obtuvieron los parámetros físicos de la cuenca en estudio: área, perímetro de la cuenca, longitud del cauce principal, perfil del cauce principal, curva hipsométrica,etc.

Dichos parámetros, se analizaron y clasificaron de acuerdo a la clasificación propuesta por el Marco Metodológico del MTI.

3.2.3 División de la cuenca en sub-cuencas y creación del modelo de drenaje: Como la cuenca en estudio es mayor a los 5 km^2, se procedió a realizar la división de la misma utilizando el programa Arc-GIS. La cuenca en estudio se dividió en siete partes y se definieron 05 puntos de control incluido el punto de cierre.

3.2.4 Aplicación del Método del Número de Curva del Soil Conservation Service.

Una vez realizada las división de la cuenca, se procede a realizar el mapa de Número de Curva, para ello fue necesario la elaboración de los siguientes mapas:

- Mapa de Pendientes.
- Mapa de Tipo de Suelo.
- Mapa de Uso de Suelo.

Así, una vez obtenida la información requerida, se procede a unir los tres mapas y como resultado se obtiene el mapa de Escorrentía de la Cuenca o Mapa de Número de Curva.

3.2.5 Creación del Modelo Hidrológico de Drenaje.

Posteriormente, se definió el Modelo Hidrológico de Drenaje, dicho procesamiento se realizó utilizando el software Arc-GIS, luego toda la información geográfica e hidrológica del modelo se exportó a HEC-HMS para simular la cuenca ante diferentes tormentas de diseño.

3.2.6 Definición de Períodos de Retorno y Tormentas de Diseño.

Los períodos de Retorno, se seleccionaron de acuerdo a la Tabla 2.10 (Frecuencias de Diseño Recomendadas), una vez definidos los períodos de retorno se aplicó el Método de Bloques Alternos a la Curva IDF Estación Masatepe.

Se calcularon los hietogramas de lluvia para cada período de retorno, con un intervalo de 15 minutos, posteriormente estas tormentas de diseño se ingresaron en HEC-HMS.

3.2.7 Obtención de los Caudales Máximos Probables.

Una vez que se realizó el tratamiento de datos por medio del software HEC-HMS, se obtuvieron los hidrogramas de escurrimiento para los períodos de retorno definidos, así mismo los caudales máximos probables generados por las tormentas de diseño, obtenida esta información, dimos por finalizado el Estudio Hidrológico.

3.3 Estudio Hidráulico.

En esta etapa se definieron las dimensiones de la obra de cruce, que cumple con los parámetros hidráulicos y criterios de diseño.

El estudio hidráulico se realizó utilizando el software HEC-RAS, se definió un Proyecto que solicitó la siguiente información:

- Secciones transversales del cauce.
- Coeficiente de Manning de las secciones.
- Caudales máximos probables.
- Períodos de Retorno.
- Parámetros propios del software HEC-RAS, tales como unidades de cálculo, etc.

3.3.1 Definición de la Geometría del Cauce Principal: Para definir la Geometría, se exportaron desde CIVIL-3D a HEC-RAS la información de las secciones transversales recopilada en el Levantamiento Topográfico, se definieron 300 m de levantamiento, 150 m aguas abajo y 150 m aguas arriba.

Dicha información, se complementó con el ingreso de los valores del coeficiente de Manning evaluado por el Método de Cowan para cada sección transversal.

3.3.2 Definición de la Geometría de la Alcantarilla: Como parte de los Datos Geométricos, se definió la posición de la alcantarilla ubicada en la estación 0+150, así mismo se definieron los parámetros tales como: Elevación del Tablero, Número de Alcantarillas, Diámetro, Coeficiente de Manning,etc. De esta forma se completa la información geométrica solicitada.

3.3.3 Definición de los Perfiles de Flujo: Los perfiles de flujo, se definieron por medio de la función Steady Flow Data, en total se definieron 04 perfiles de flujo, que corresponden a los 04 Caudales calculados con HEC-HMS. (Ver Tabla 4.5).

3.3.4 Simulación Hidráulica: Una vez revisada e ingresada toda la información pertinente, se procede a realizar la simulación hidráulica tanto de la Alcantarilla como del Cauce con la función Perform a Steady Flow Simulation.

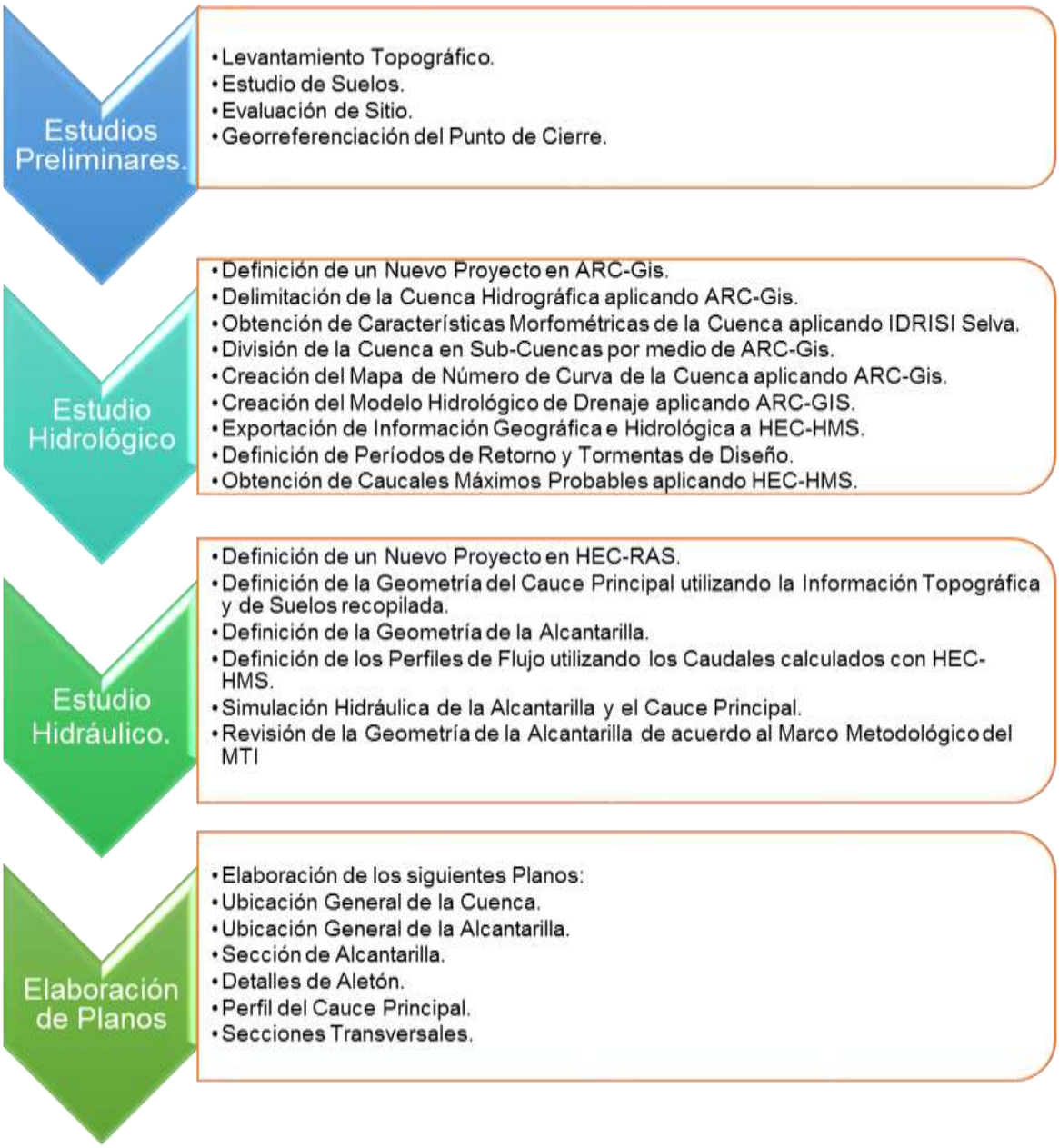
Dicha simulación, permite evaluar el comportamiento del cauce y la alcantarilla, en respuesta al Caudal o Perfil de Flujo Simulado, además proporciona datos de mucha relevancia, como tirantes, velocidades, línea de energía y otros parámetros, que permiten evaluar las obras hidráulicas.

3.3.5 Revisión de la Geometría de la Alcantarilla: Posterior a la Simulación Hidráulica, se evaluó la geometría propuesta de acuerdo a los Criterios de Diseño del Marco Metodológico del MTI, tales como: Diámetro mínimo, Relleno mínimo,etc. y determinar si cumple o no dichos criterios, para aceptar la geometría como solución.

3.4 Elaboración de Planos de Propuesta Hidráulica de Dimensionamiento: Una vez definida la geometría de la alcantarilla se procedió a la elaboración de planos correspondientes, este proceso se desarrolló utilizando el Programa AUTO-CAD.

A continuación, se presenta el Esquema Metodológico desarrollado.

Figura 3.1: Esquema Metodológico.



Fuente: Elaboración Propia.

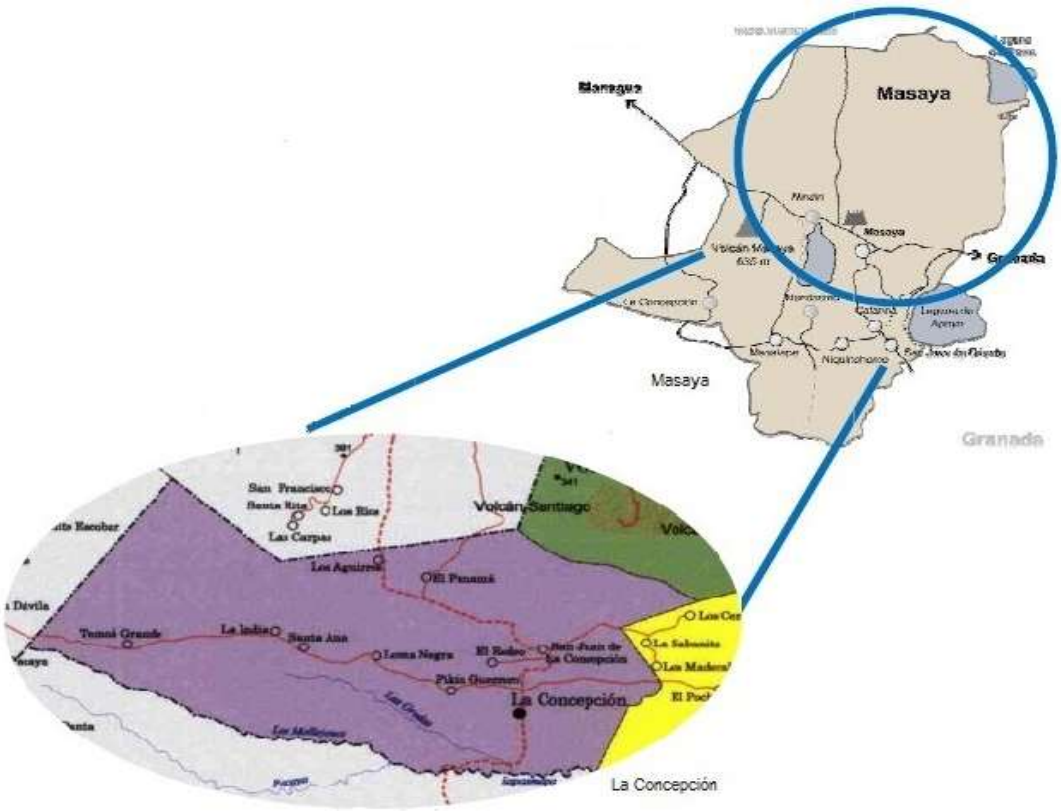
CAPÍTULO 4: ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SITIO

4.1 Generalidades del Área de Estudio.

4.1.1 Macro y Micro localización.

El área de estudio correspondiente a este proyecto, se ubica en el municipio de La Concepción, departamento de Masaya. Esta zona, pertenece a la cuenca # 69 (Cuenca del Río San Juan), en la vertiente del Mar Caribe.

Figura 4.1: Micro localización del Área de Estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Localización y Limites.

Las comunidades: Los Velázquez y Los Mercados pertenecen al municipio de La Concepción, departamento de Masaya y se localizan a 32 km de la ciudad de Managua.

El municipio de La Concepción limita al norte con los municipios de Nindirí y Ticuantepe, al sur con el municipio de San Marcos, al este con el municipio de Masatepe y al oeste con el municipio de Managua.

4.1.3 Clima y Actividades Económicas Predominantes.

El municipio de La Concepción presenta 6 zonas climáticas básicas, siendo el clima predominante el subtropical, en cuanto a la temperatura media, varía entre 26.2 °C a 27.3 °C.

La población del municipio de La Concepción se dedica fundamentalmente a la producción agrícola. Los rubros que se cultivan son: naranjas, mandarinas, limón dulce, piña, plátanos, pitahaya y en menor medida otros cultivos como granos básicos: frijoles y café.

Según el último Censo Agropecuario (CENAGRO, 2015), el municipio de La Concepción ocupa el primer lugar en la producción de cítricos, con un área aproximada de 1,184.2 manzanas cultivadas y una producción anual de más de 100 millones de unidades de naranjas, limones, etc.

4.1.4 Población.

Según los datos recopilados por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), la población del municipio de La Concepción es de 31, 950 habitantes. De los cuales 817 se encuentran establecidos en la comarca Los Mercados.

De acuerdo a las estadísticas de INIDE en la comarca Los Mercados, el 29.9% de la población son hombres mayores de 15 años, el 23% son hombres menores de 15 años, el 27 % de la población son mujeres mayores de 15 años y el 20.1% son mujeres menores de 15 años.La tasa de crecimiento histórica de esta población es del 1.1%.

4.1.5 Localidades.

El municipio de La Concepción cuenta con dos cascos urbanos: La Concepción y San Juan de La Concepción y 18 comarcas o comunidades rurales.Para el desarrollo de este tema monográfico, nos enfocaremos en estudiar la obra de cruce que se genera en la ruta San Juan de La Concepción hacia las comarcas: Los Mercados.

4.1.6 Vialidad y Transporte.

El municipio de La Concepción es muy accesible, resulta fácil llegar desde Managua cruzando la carretera que conecta a Ticuantepe con San Marcos (Carazo). Desde el norte la carretera con destino a Ticuantepe se ubica en el kilómetro 14.4 de la carretera a Masaya, mientras desde el sur la carretera proviene desde San Marcos, Carazo.

En cuanto a la accesibilidad de la ruta San Juan de La Concepción hacia la comarca Los Mercados, el acceso se hace a través de un camino rural, que no cuenta con superficie de rodamiento ni asfaltada, ni de concreto.

Durante la época lluviosa el acceso a dicha comarca se hace prácticamente imposible, lo que obliga a los productores a utilizar medios como carretas, caballos, etc., el mayor problema es el paso a través del punto “La Velazqueña”, donde no existe ninguna obra hidráulica de cruce.

4.2 Ubicación del Punto de Cierre.

El punto de cierre en estudio (Punto “La Velazqueña”), se ubica en la intersección de la carretera que comunica a las comunidades: Los Velázquez y Los Mercados con el casco urbano del municipio de San Juan de La Concepción.

Las coordenadas de este punto, se obtuvieron por medio de GPS y se encuentran denotadas en el sistema de coordenadas UTM WGS-1984, dicha ubicación fue comprobada utilizando Google Earth.

Punto de Cierre: 11°57’29.7’’ N, 86°11’19.6’’ W.

Figura 4.2: Ubicación del Punto de Cierre.

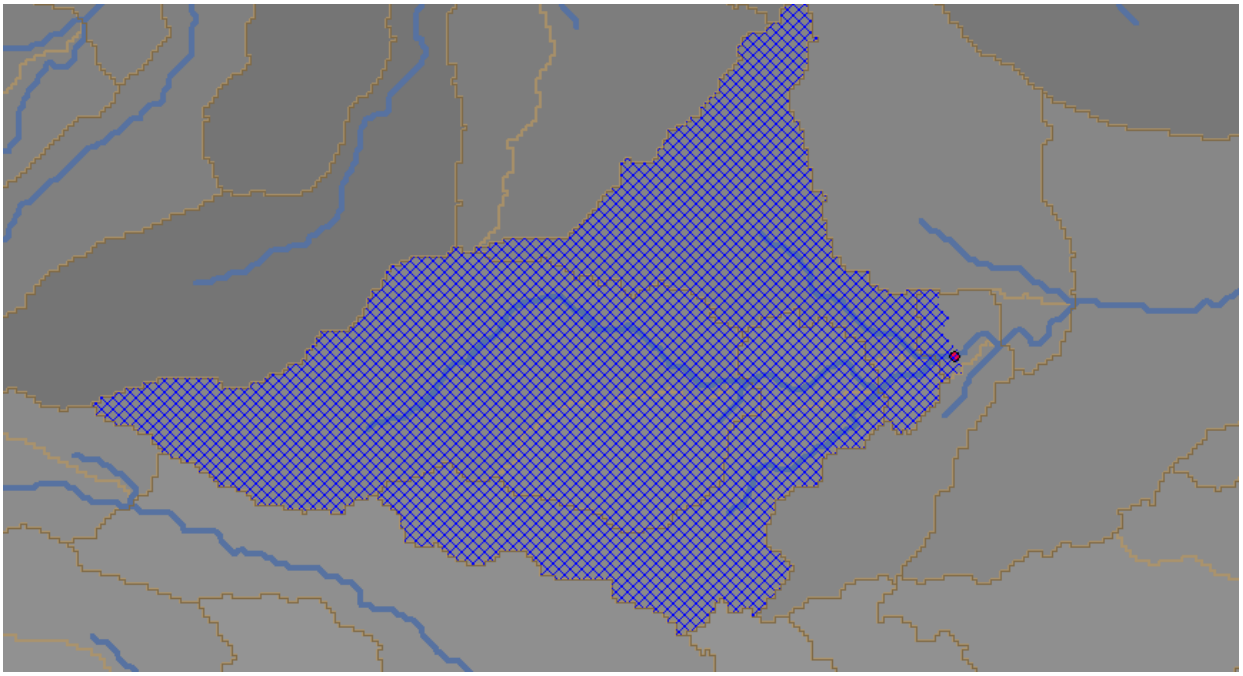


Fuente: Google Earth.

4.3 Delimitación de la Cuenca Hidrográfica.

La delimitación de la cuenca se realizó utilizando el software Arc-GIS, a continuación, se presenta la cuenca delimitada respecto al Punto “La Velazqueña”:

Figura 4.3: Cuenca delimitada en Arc-GIS.



Fuente: Arc-GIS.

4.4 Obtención de las Características Morfométricas de la cuenca.

Posterior a la delimitación de la cuenca realizada en Arc-GIS, se realizó la exportación de la información requerida por IDRISI Selva, para obtener los parámetros que se muestran a continuación.

Tabla 4.1: Características Morfométricas de la Cuenca.

Parámetro	Registro	Unidad	Descripción
ClvRgn	1		Cuenca Hidrográfica
A_km2	10.72	km2	Superficie de Cuenca
P_km	21.29	km	Perímetro de Cuenca
Em_m	539.02	msnm	Elevación Media
Pm_g	7.66	°	Pendiente media(grados)
Pm_p	13.67	%	Pendiente media(porcentaje)
Kc	1.83		Coeficiente de compacidad(Gravelius)
Rci	0.3		Relación Circular
Rh	1.33		Relación Hipsométrica
Lc_km	6.99	km	Longitud del eje del río principal
La_km	5.74	km	Longitud directa del río principal
Sh	1.22		Coeficiente de sinuosidad hidráulico
Emx_m	738	msnm	Altitud inicial
Emn_m	409	msnm	Altitud media
Sc_p	7.96	%	Pendiente promedio del río principal
Tc_Kirpich_h	0.96	hrs	Tiempo de concentración de Kirpich
Tc_CHPW_h	0.96	hrs	Tiempo de concentración de California Highways Public Work

Fuente: IDRISI Selva.

El área resultante de la cuenca es de 10.72 km^2, por lo que se clasifica como pequeña en orden a su tamaño. (Ver Tabla 2.1: Clases de tamaños de cuencas).

Con respecto al Indice de Compacidad el valor obtenido es de 1.83, lo que permite clasificar la cuenca de Oval Oblonga a Rectangular Oblonga. (Ver Tabla 2.2: Clases de valores de compacidad).

Como el valor encontrado del índice de compacidad se aleja de la unidad, podemos afirmar que la cuenca es de forma irregular y se espera que tenga una menor tendencia a las crecientes, pero que presente respuestas rápidas ante los eventos de precipitación.

Bajo el cálculo del Rectángulo Equivalente, se comprueba que existe y toma los siguientes valores: L= 9.53 km y l=1.13 km .Debido a la existencia de este parámetro, se verifica que la cuenca es de forma irregular.

El valor obtenido para el factor de forma fue Kf=0.12, por lo que clasificamos la cuenca como Muy poco achatada.(Ver Tabla 2.3: Clases de valores de forma). Además como este factor es bajo numéricamente, se espera que la cuenca tenga menor tendencia a las avenidas o a las crecidas.

De acuerdo al coeficiente de masividad, la cuenca se clasifica como Montañosa.(Ver Tabla 2.4: Clases de valores de masividad), debido a que presenta un valor para Km= 50.28.

El Cauce Principal de la cuenca tiene una longitud de 6.99 km, por lo que se puede clasificar como Corto.(Ver Tabla 2.5: Clases de valores de longitudes del cauce principal).

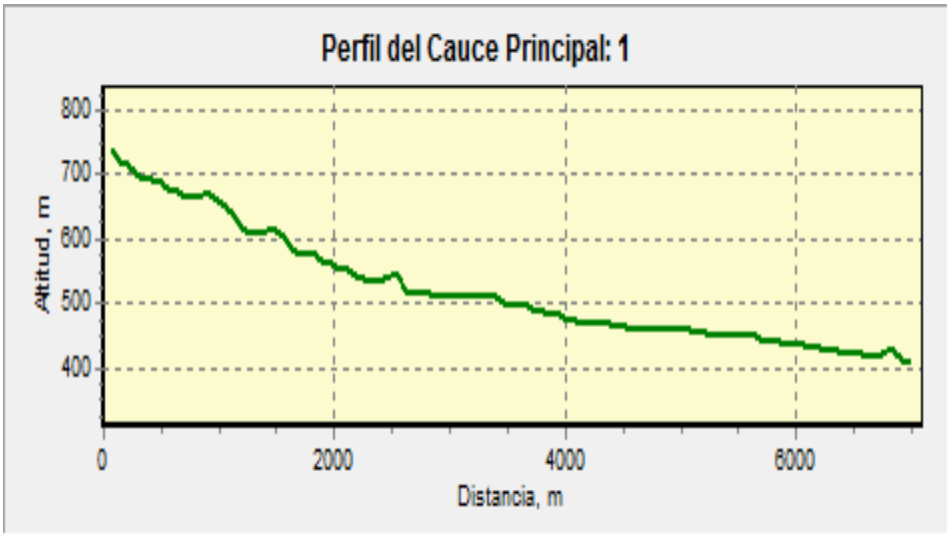
La elevación geográfica de esta cuenca, se sitúa en el rango de elevación Baja (Ver Tabla 2.6: Clases de valores de elevación media), dicha elevación posee un valor de Em= 539.02 msnm. Este parámetro tiene mucha importancia en relación a la temperatura y a la lluvia, así en zonas bajas se esperan temperaturas más altas.

En cuanto a la pendiente media de la cuenca, se obtuvo un valor de 13.67%, la cual se clasifica como fuerte. Este valor controla en buena parte la velocidad con la que se da la escorrentía superficial y el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los canales fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas. Además, influye en la determinación del coeficiente de escorrentía.

El tiempo que tarda la lluvia que cae en el punto más remoto para llegar al punto de cierre es de 0.96 horas, el cual representa el tiempo para la cual toda la cuenca empieza a contribuir en el drenaje.

Según el análisis realizado con IDRISI Selva, determinamos la gráfica del perfil del cauce, la cual presenta una distribución de pendiente bruscas en los primeros 2 km y uniforme en los 4.99 kms restantes. El valor para la pendiente media del cauce es de Sm=7.96 %, lo que permite clasificarla como pendiente moderada.

Figura 4.4: Perfil del Cauce Principal.

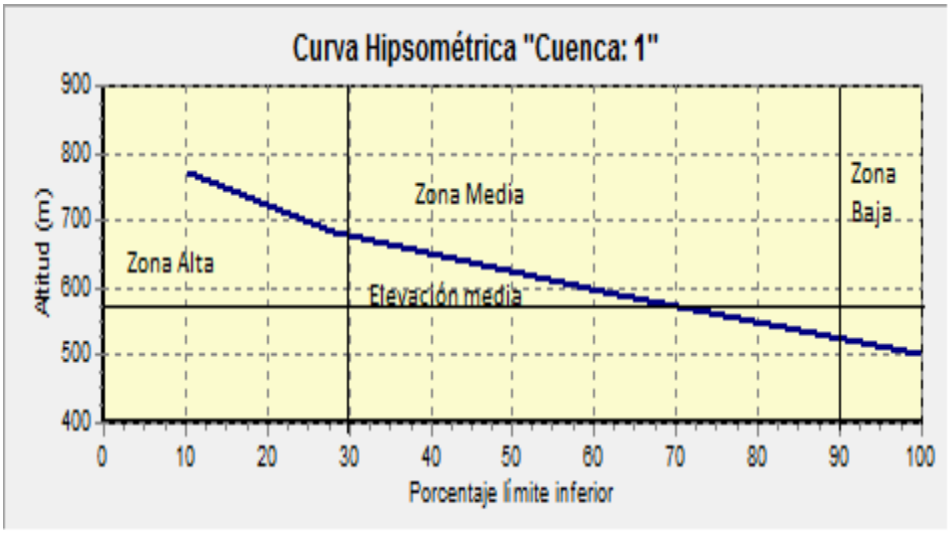


Fuente: IDRISI Selva.

Através de la Curva Hipsométrica, se detallaron tres tipos de zonas, que según la distribución de frecuencia de área se ubican de la siguiente manera:

- ✓ Zona Baja: Comprendida entre 500- 525 msnm aproximadamente, esta zona presenta una distribución de pendientes uniformes del tipo moderado.
- ✓ Zona Media: Comprendida entre 525 - 675 msnm aproximadamente, en esta zona se observa una pendiente moderada pero constante.
- ✓ Zona Alta: Comprendida entre 675 - 775 msnm aproximadamente, en esta zona se observa un relieve brusco, y presenta las pendientes más fuertes y pronunciadas de la cuenca.

Figura 4.5: Curva Hipsométrica Zonificada.

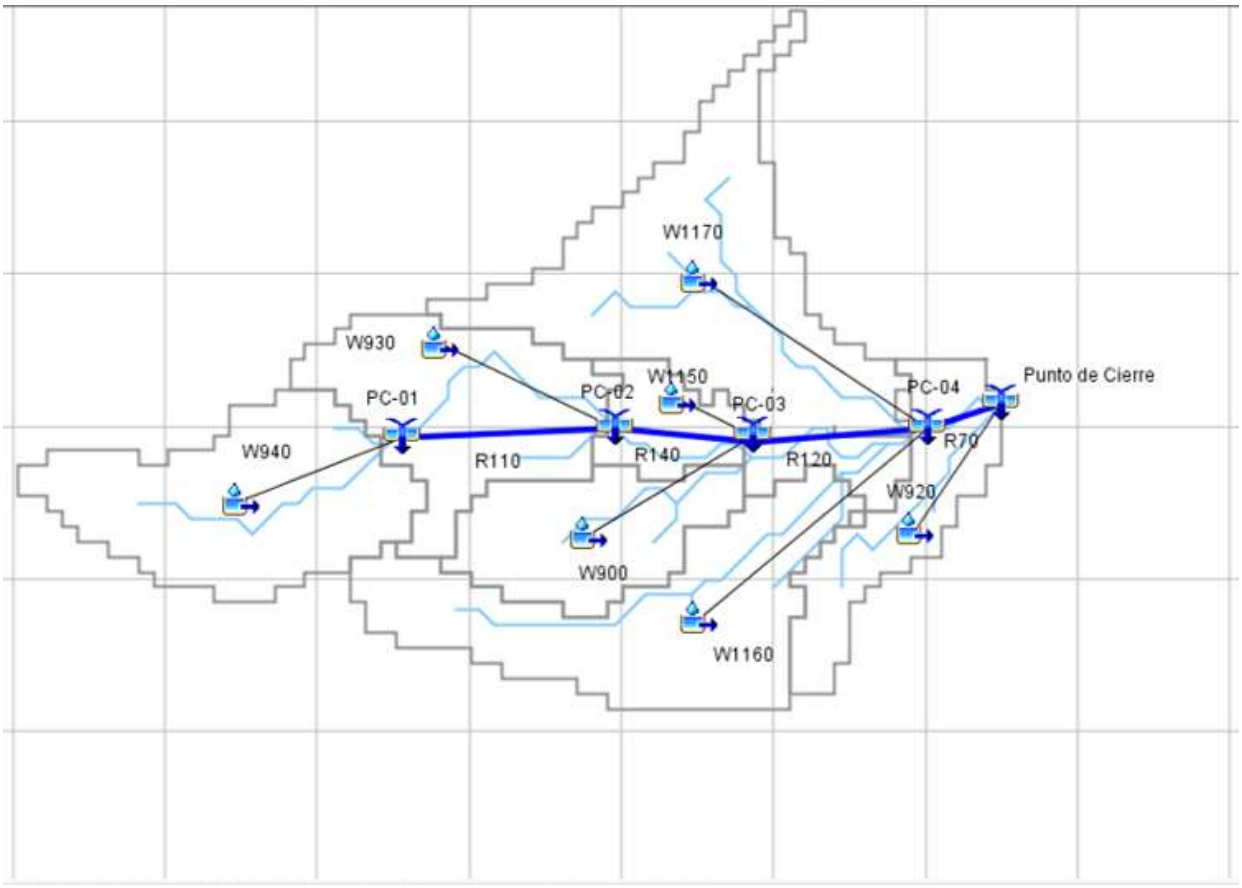


Fuente: IDRISI Selva.

4.5 Modelo Hidrológico de Drenaje.

Para realizar un cálculo más preciso del Número de Curva de la cuenca, se dividió la cuenca en sub-cuencas, dicho procesamiento se realizó aplicando las funciones de ARC-Gis. Por lo tanto, se tiene la siguiente división:

Figura 4.6: Modelo Hidrológico de Drenaje.



Fuente: HEC-HMS.

La cuenca se dividió en 07 subcuencas (Ver Figura 4.6), y se definieron 05 puntos de control(Incluido el Punto de Cierre), a continuación se muestra la información producto de la división de la cuenca.

Tabla 4.2: Información de la División de la Cuenca.

Ítem	Tramo	Aporte Parcial	Aporte Acumulado	Área de Aporte Parcial(km2)	Área de Aporte Acumulado	Parámetro X	Tiempo de Retardo(hrs)
Punto de Control 1		W940	W940	1.830101	1.830101		
	R110					0.2	0.1414
Punto de Control 2		W930	W940,W930	1.540266	3.370367		
	R140					0.2	0.0895
Punto de Control 3		W900,W1150	W940,W930,W900, W1150	1.556828	4.927195		
	R120					0.2	0.1215
Punto de Control 4		W1170,W1160	W940,W930,W900,W1150,W1170,W1160	4.836104	9.763299		
	R70					0.2	0.0694
Punto de Cierre		W920	W940,W930,W900,W1150,W1170,W1160, W920	0.952315	10.715614		

Fuente: Elaboración Propia.

4.6 Obtención del mapa de Número de Curva de la cuenca.

El Mapa de Número de Curva(Ver Anexo C.VII) representa el escurrimiento superficial de cada sub-cuenca, es decir es un mapa de escorrentía de la cuenca y es el resultado de la unión de los siguientes mapas: (Ver Anexo C.IV, C.V,C.VI).

- Mapa de Pendiente de la cuenca.
- Mapa de Uso de Suelos de la cuenca.
- Mapa de Tipo de Suelos de la cuenca.

A continuación, se presentan los valores de CN para cada sub-cuenca.

Tabla 4.3: Valores de CN y Lag Time para cada sub-cuenca.

Sub-Cuenca	Area (km2)	Valor de CN(%)	Lag Time(hrs)
W940	1.830101	48.195	0.538
W930	1.540266	44.21	0.852
W900	1.07653	42.562	1.408
W1150	0.480298	52.138	0.955
W1170	2.442895	39.996	2.340
W1160	2.393209	53.837	1.833
W920	0.952315	38.939	1.770

Fuente: Elaboración Propia.

4.7 Selección del Período de Retorno.

El Período de Retorno se selección de la Tabla 2.10 (Frecuencias de Diseño Recomendadas) por el Marco Metodológico del MTI.

La vía en estudio se clasifica como Colectora Secundaria y la Obra como Alcantarilla de Paso, por lo tanto el Período de Retorno Recomendado es de 25 años.

Para este caso, se evaluarán los siguientes períodos de retorno.

- **Período de Retorno de 10 años**: Se utilizará para definir el Caudal Mínimo Probable.
- **Periodo de Retorno de 25 años**: Se utilizará para definir el Caudal de Diseño.
- **Período de Retorno de 50 años**: Se utilizará para definir el Caudal Máximo Ordinario para el Diseño de la Obra.
- **Período de Retorno de 100 años**: Se utilizará para el Caudal Máximo Extraordinario.

4.8 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

La información de las curvas IDF, fue provista por el Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales INETER, para nuestro caso consideramos la Estación Hidrometeorológica localizada en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya.

Debido a que la estación está ubicada de forma muy cercana, a la cuenca en estudio resulta ser la única estación que afecta la cuenca,es decir que la cuenca está dentro de su área de influencia de acuerdo a los Polígonos de Thiesen (Ver Anexo D).

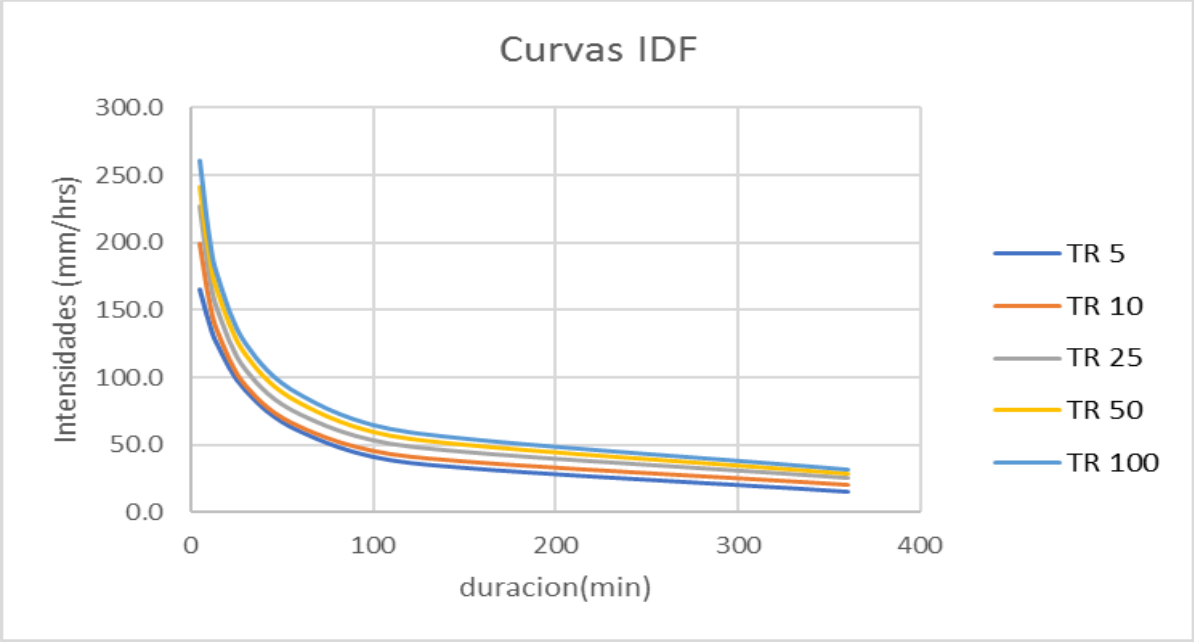
A continuación, se muestra la Curva IDF de la estación mencionada:

Tabla 4.4: Intensidades de Lluvia para diferentes Períodos de Retorno.

INTENSIDADES (mm/h) DE PRECIPITACIÓN							
ESTACIÓN: Masaya							
Período de Retorno	Tiempo en Minutos						
	5	10	15	30	60	120	360
1.5 años	128.4	108.9	94.5	67.3	42.3	23.9	8.4
2 años	141.0	118.6	102.4	73.0	46.7	27.5	10.6
5 años	164.8	140.6	123.0	90.2	59.9	36.9	15.5
10 años	199.6	158.3	133.3	94.3	63.5	41.5	20.5
15 años	214.7	166.9	139.5	98.5	67.0	44.6	22.9
25 años	227.3	177.5	148.9	105.9	72.6	48.7	25.3
50 años	241.2	191.8	162.4	116.8	80.6	54.3	28.3
100 años	261.1	206.0	174.1	125.5	87.3	59.6	31.8

Fuente: Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales.

Figura 4.7: Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.



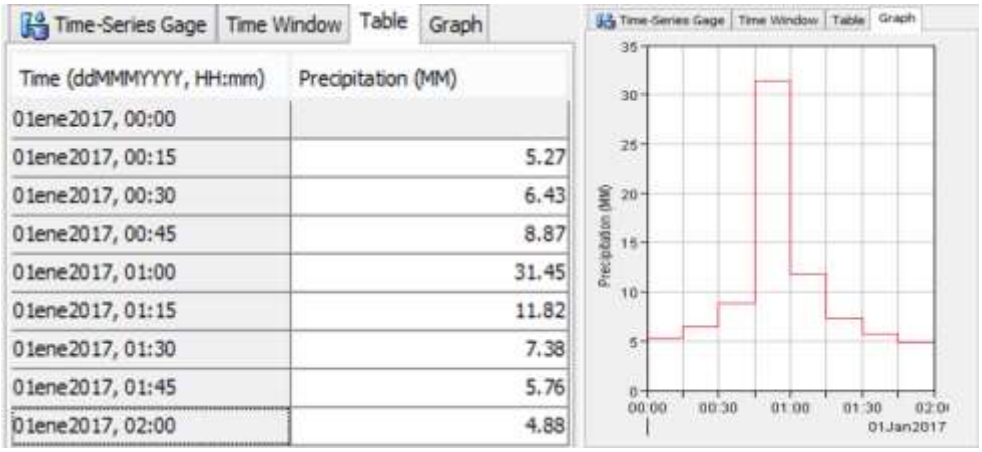
Fuente: Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales.

4.9 Aplicación del Método de Bloques Alternos.

El programa HEC-HMS, solicita las alturas de precipitación para el Período de Retorno a estudiar, esto se conoce como “Hietograma de Diseño” o Alturas de Precipitación, aplicando el método de los Bloques Alternos se calcularon los siguientes Hietogramas de Diseño.

- Período de Retorno de 10 años.

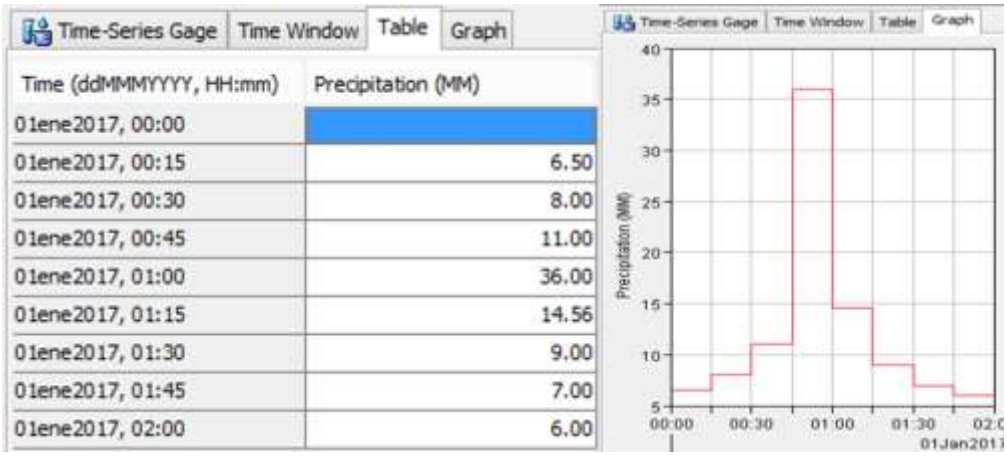
Figura 4.8: Hietograma de Tormenta para TR=10 años.



Fuente: HEC-HMS.

- Período de Retorno de 25 años.

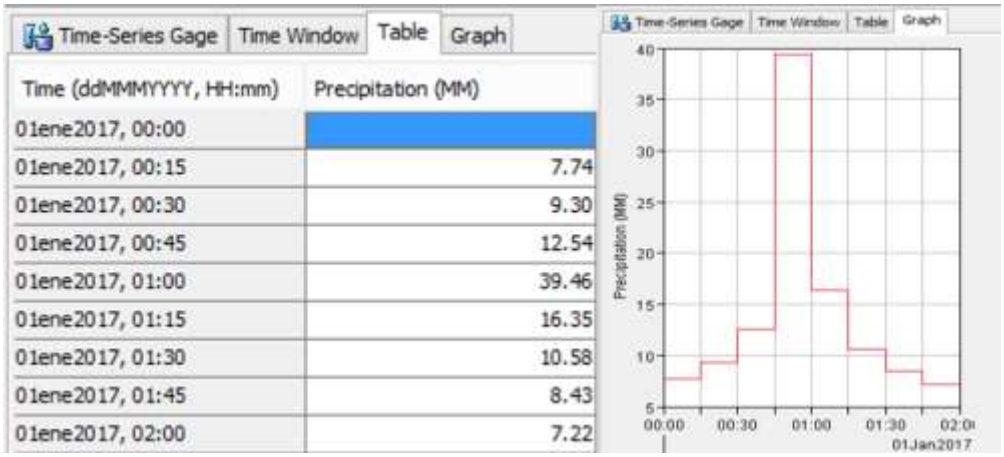
Figura 4.9: Hietograma de Tormenta para TR=25 años.



Fuente: HEC-HMS.

- Período de Retorno de 50 años.

Figura 4.10: Hietograma de Tormenta para TR= 50 años.



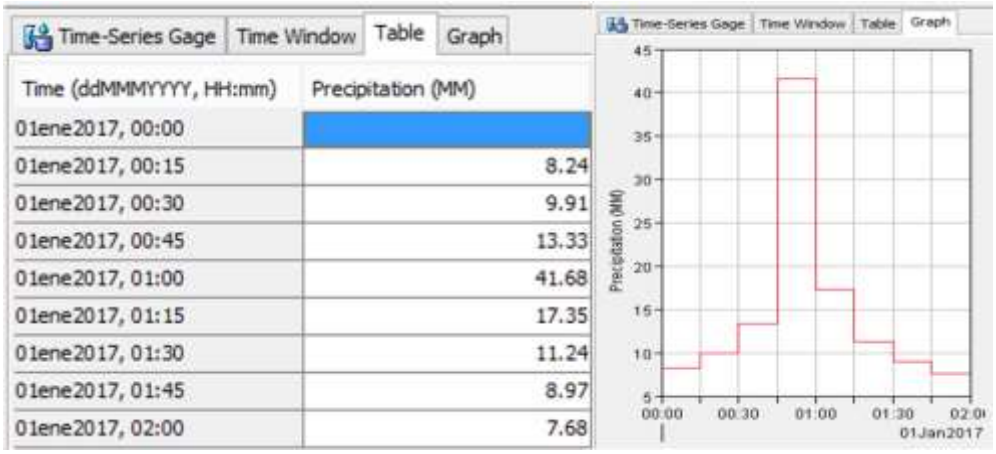
Time-Series Gage | Time Window | Table | Graph

Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene2017, 00:00	
01ene2017, 00:15	7.74
01ene2017, 00:30	9.30
01ene2017, 00:45	12.54
01ene2017, 01:00	39.46
01ene2017, 01:15	16.35
01ene2017, 01:30	10.58
01ene2017, 01:45	8.43
01ene2017, 02:00	7.22

Fuente: HEC-HMS.

- Período de Retorno de 100 años.

Figura 4.11: Hietograma de Tormenta para TR= 100 años.



Time-Series Gage | Time Window | Table | Graph

Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene2017, 00:00	
01ene2017, 00:15	8.24
01ene2017, 00:30	9.91
01ene2017, 00:45	13.33
01ene2017, 01:00	41.68
01ene2017, 01:15	17.35
01ene2017, 01:30	11.24
01ene2017, 01:45	8.97
01ene2017, 02:00	7.68

Fuente: HEC-HMS.

4.10 Obtención de Caudales Máximos Probables.

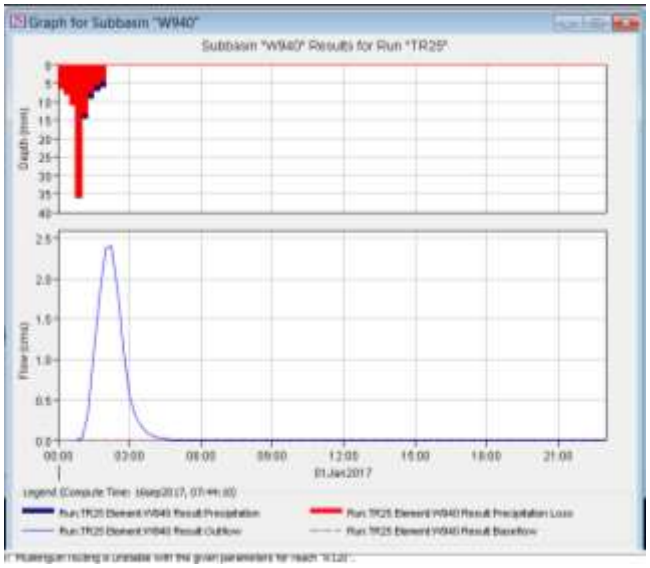
Una vez ingresados los datos requeridos y realizado el tratamiento de datos en el programa HEC-HMS, se obtuvieron los Hidrogramas de Escurrimiento generados por las Hietogramas de Diseño expuestos en el apartado 5.9.

A continuación, se presentan los Hidrogramas de Escurrimiento generados por una tormenta de diseño con período de retorno de 25 años, es decir se presentan los hidrogramas de escurrimiento que conducen al Caudal de Diseño.

Hidrogramas de Escurrimiento para un **Período de Retorno de 25 años**:

- Sub-Cuenca W-940.

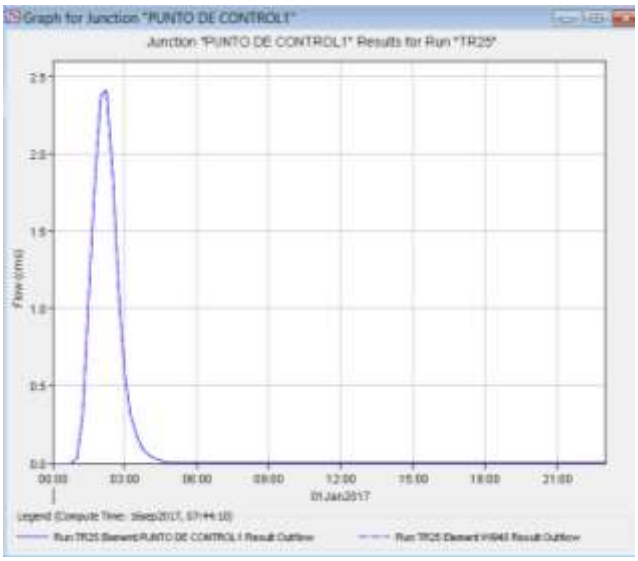
Figura 4.12: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-940.



Fuente: HEC-HMS.

- Punto de Control 1.

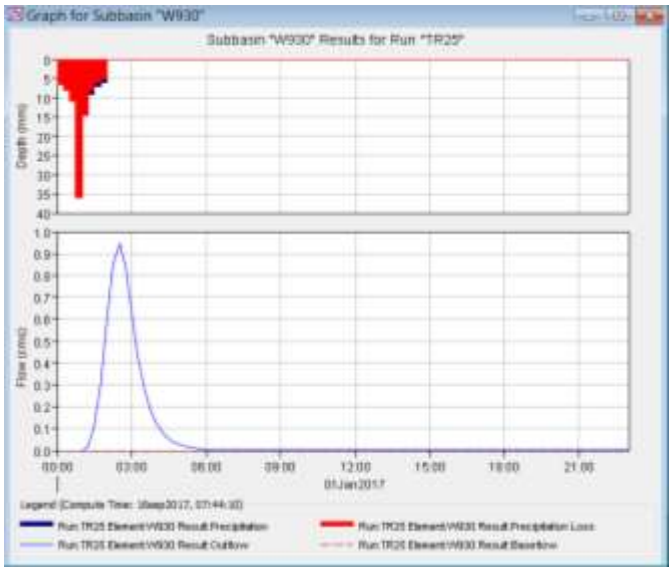
Figura 4.13: Hidrograma Resultante Punto de Control 1.



Fuente: HEC-HMS.

- Sub-Cuenca W-930.

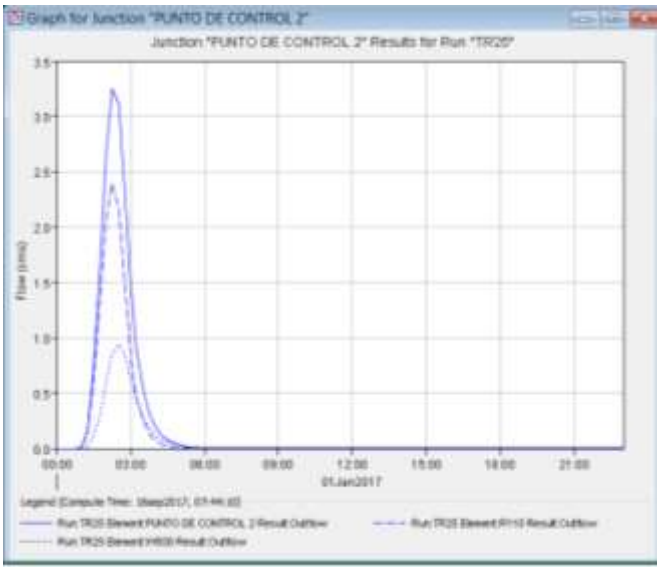
Figura 4.14: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-930.



Fuente: HEC-HMS.

- Punto de Control 2.

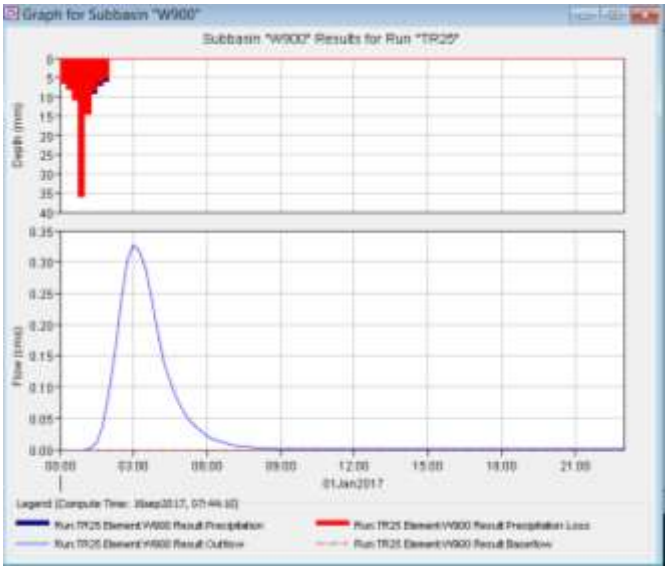
Figura 4.15: Hidrograma Resultante Punto de Control 2.



Fuente: HEC-HMS.

- Sub-Cuenca W-900.

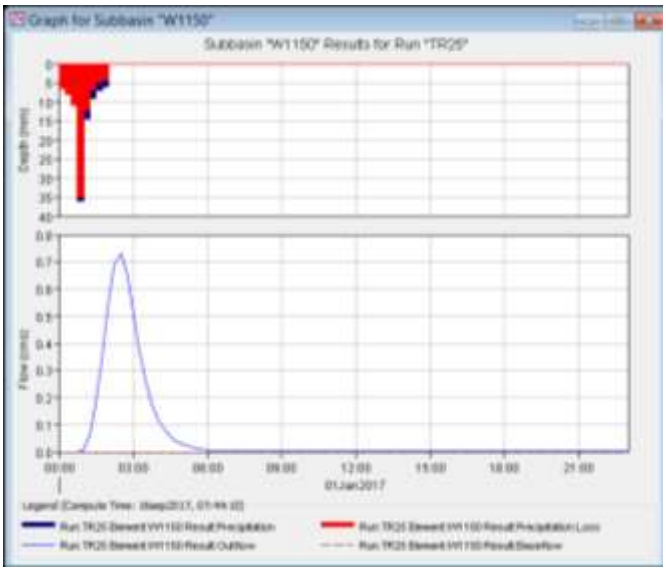
Figura 4.16: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-900.



Fuente: HEC-HMS.

- Sub-Cuenca W-1150.

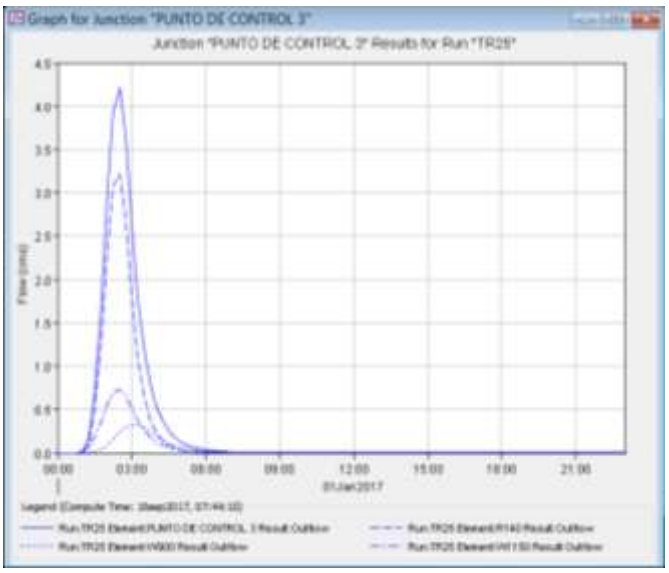
Figura 4.17: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-1150.



Fuente: HEC-HMS.

- Punto de Control 3.

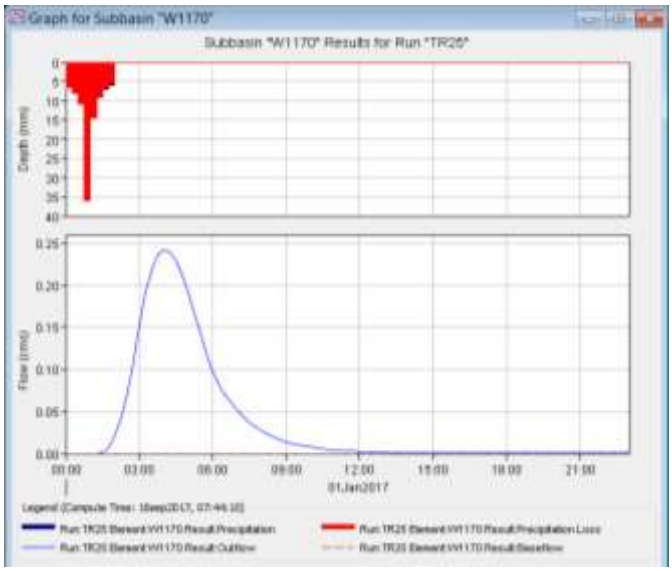
Figura 4.18: Hidrograma Resultante Punto de Control 3.



Fuente: HEC-HMS.

- Sub-Cuenca W-1170.

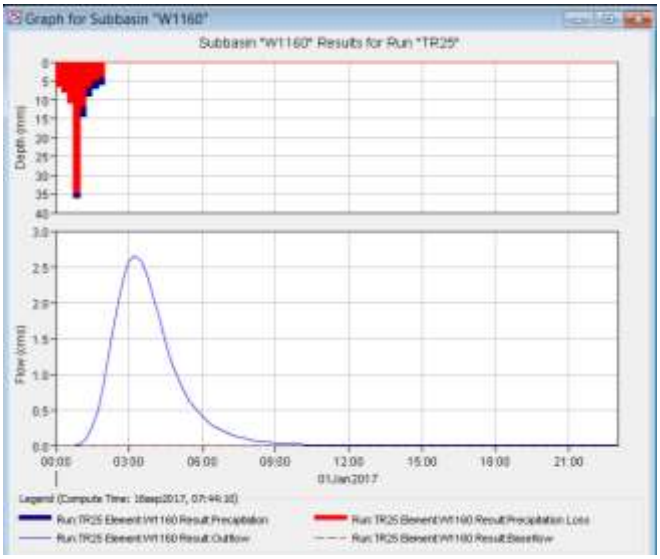
Figura 4.19: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-1170.



Fuente: HEC-HMS.

- Sub-Cuenca W-1160.

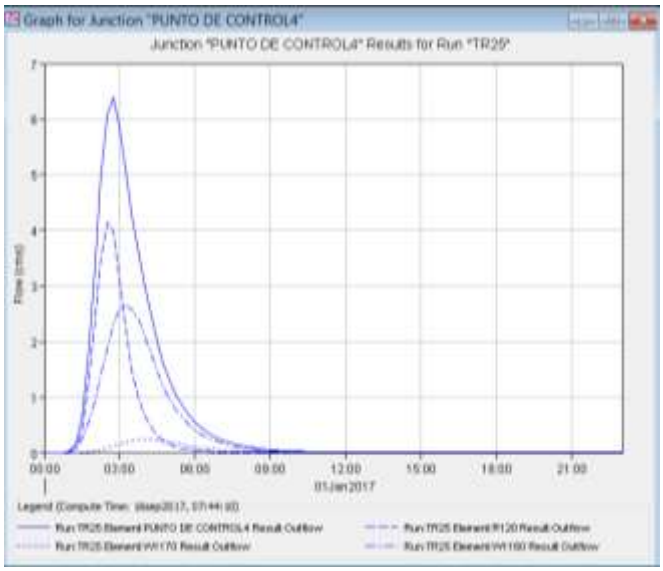
Figura 4.20: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-1160.



Fuente: HEC-HMS.

- Punto de Control 4.

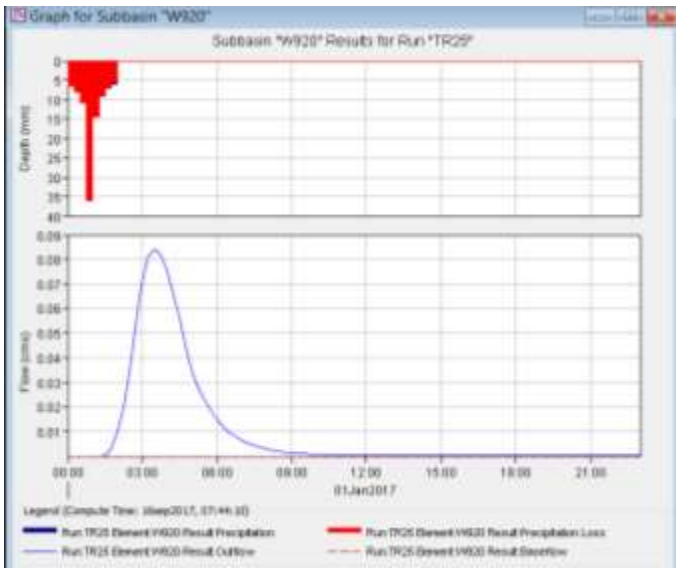
Figura 4.21: Hidrograma Resultante Punto de Control 4.



Fuente: HEC-HMS.

- Sub-Cuenca W-920.

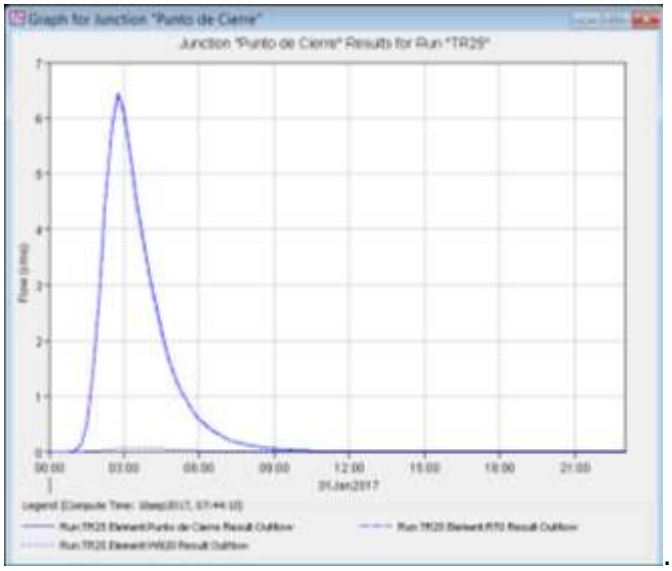
Figura 4.22: Hidrograma de Escurrimiento Sub-Cuenca W-920.



Fuente: HEC-HMS.

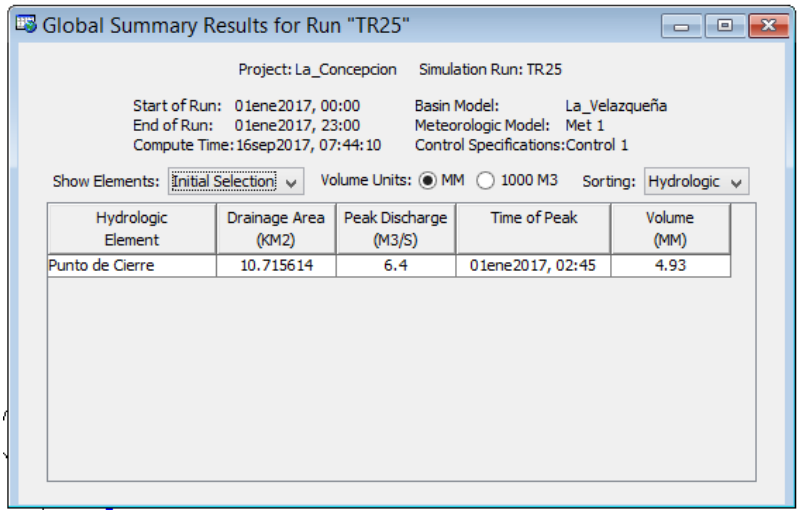
- **Punto de Cierre**: En este punto se obtiene el Caudal Máximo Probable para el **Período de Retorno de 25 años**, es decir obtenemos el Caudal de Diseño.

Figura 4.23: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR=25 años.



Fuente: HEC-HMS.

Figura 4.24: Caudal Máximo Probable para TR=25 años.



Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Punto de Cierre	10.715614	6.4	01ene2017, 02:45	4.93

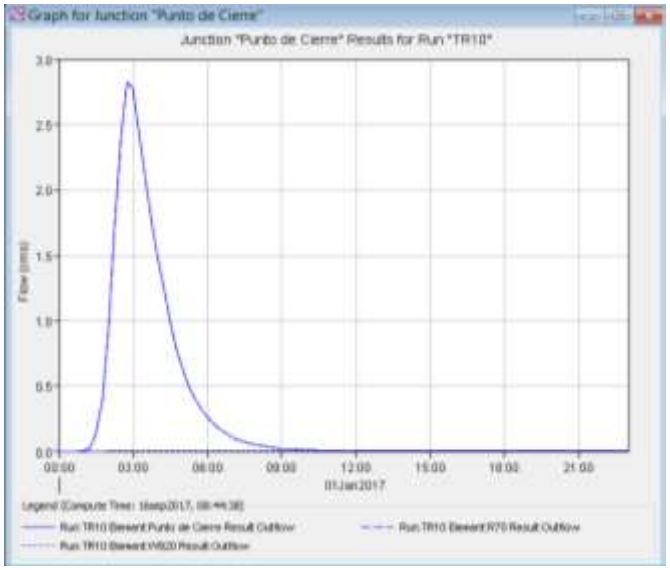
Fuente: HEC-HMS.

Por lo tanto, se obtiene un **Caudal de Diseño de 6.4 mcs** y ocurre a las 02 horas con 45 minutos.

Utilizando el mismo procedimiento, se obtuvieron los caudales para los períodos de retorno que se presentan, a continuación:

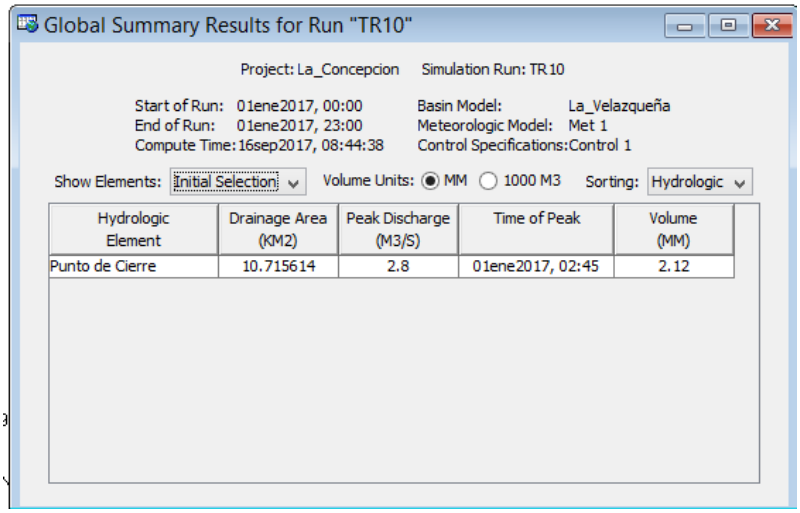
Período de Retorno de 10 años: El Caudal Máximo Probable para esta tormenta de diseño, se considerará como Caudal Mínimo en el Diseño de la Obra.

Figura 4.25: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR=10 años.



Fuente: HEC-HMS.

Figura 4.26: Caudal Máximo Probable para TR=10 años.

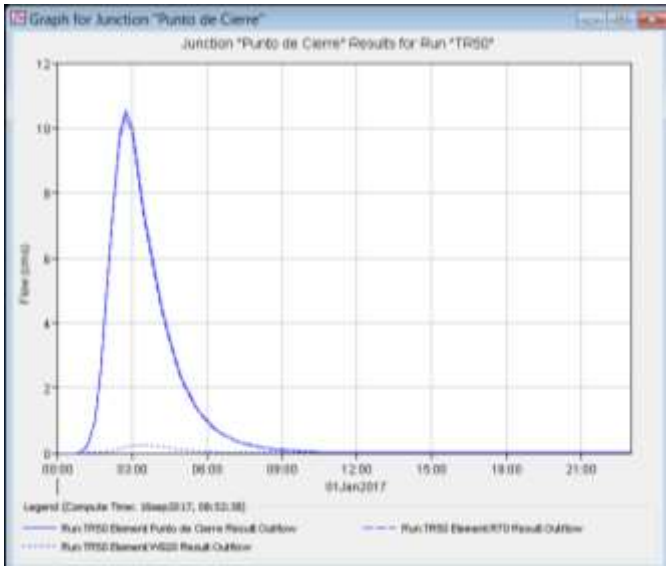


Fuente: HEC-HMS.

Por lo tanto, se obtiene un **Caudal de 2.8 mcs,** que se usará como **Caudal Mínimo** y ocurre a las 02 horas con 45 minutos.

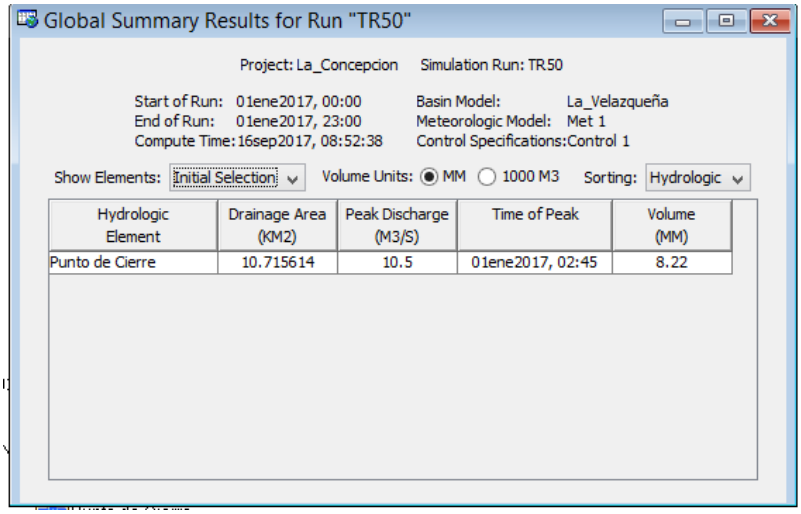
Período de Retorno de 50 años: El Caudal Máximo Probable para esta tormenta de diseño, se considerará como Caudal Máximo Ordinario en el Diseño de la Obra.

Figura 4.27: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR=50 años.



Fuente: HEC-HMS.

Figura 4.28: Caudal Máximo Probable para TR=50 años.

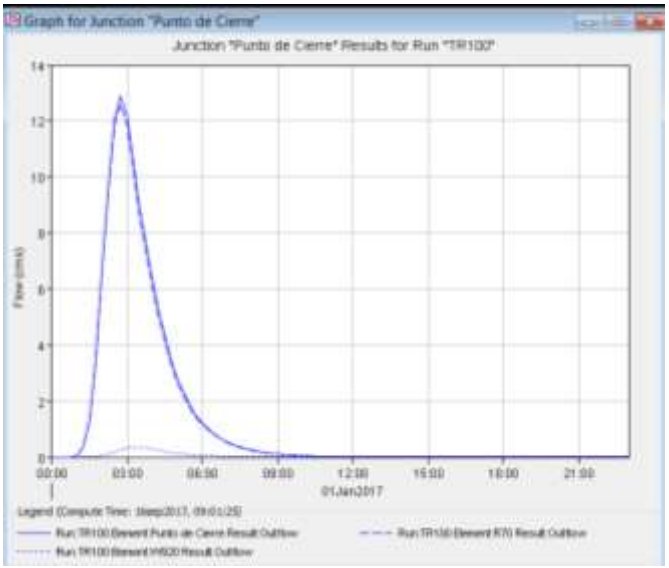


Fuente: HEC-HMS.

Por lo tanto, se obtiene un **Caudal de 10.5 mcs,** que se usará como **Caudal Máximo Ordinario** y ocurre a las 02 horas con 45 minutos.

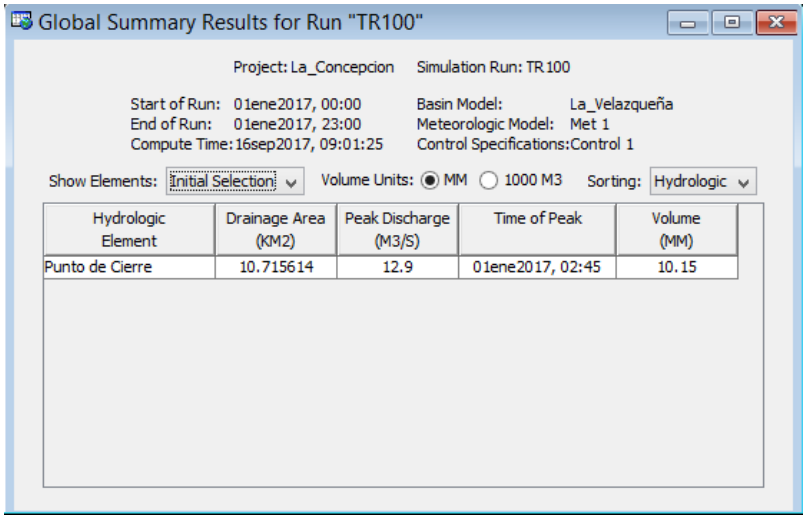
Período de Retorno de 100 años: El Caudal Máximo Probable para esta tormenta de diseño, se considerará como Caudal Máximo Extraordinario en el Diseño de la Obra.

Figura 4.29: Hidrograma Resultante en el Punto de Cierre para TR=100 años.



Fuente: HEC-HMS.

Figura 4.30: Caudal Máximo Probable para TR=100 años.



Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Punto de Cierre	10.715614	12.9	01ene2017, 02:45	10.15

Fuente: HEC-HMS.

Por lo tanto, se obtiene un **Caudal de 12.9 mcs,** que se usará como **Caudal Máximo Extraordinario** y ocurre a las 02 horas con 45 minutos.

4.11 Interpretación de Resultados Hidrológicos.

Para aplicar el método del S.C.S con mayor precisión, se dividió la cuenca en 07 subcuencas, y se definieron 05 puntos de control incluyendo el punto de cierre, este proceso se realizó utilizando el programa ARC-GIS (Ver Apartado 4.5).

Los valores de escurrimiento de las sub-cuencas, se obtuvieron por medio del Mapa del Número de Curva de la cuenca. Estos valores representan el porcentaje de la lluvia que se escurre, en este caso el valor de CN más alto es el de la Sub-cuenca W-1160 con CN= 53.837%, en general se tiene un valor promedio de CN de 45.70%.

El Período de Retorno seleccionado como Período de Diseño es de 25 años (Ver Apartado 4.7), así mismo se evaluarán los siguientes períodos de retorno, con los propósitos mencionados.

- 10 años: Se utilizará para definir el Caudal Mínimo.
- 50 años: Se utilizará para definir el Caudal Máximo Ordinario.
- 100 años: Se utilizará para definir el Caudal Máximo Extraordinario.

Las tormentas de diseño, se representaron por medio de Hietogramas de lluvia (Ver Apartado 4.9) , y se definieron para los períodos de retorno antes mencionados.

El estudio hidrológico concluyó con la determinación de los caudales máximos probables,este proceso se realizó aplicando las herramientas y funciones de HEC-HMS. La siguiente tabla muestra el resumen de los caudales calculados en el Estudio Hidrológico del Sitio.

Tabla 4.5: Resumen de Caudales.

Período de Retorno	Caudal(mcs)	Tiempo Pico	Observación
10 años	2.80	02h 45min	Caudal Mínimo
25 años	6.40	02h 45min	Caudal de Diseño
50 años	10.50	02h 45min	Caudal Máximo Ordinario
100 años	12.90	02h 45min	Caudal Máximo Extraordinario

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 5: ESTUDIO HIDRÁULICO DEL PROYECTO

El estudio hidráulico se realizó por medio del software HEC-RAS, en este capítulo se definieron las dimensiones de la obra de cruce, que cumple con los parámetros hidráulicos y criterios de diseño delegados en el Marco Teórico.

A continuación, se describen los datos demandados por el software para generar la simulación hidráulica de la obra de cruce.

5.1 Información Topográfica del Cauce.

HEC-RAS solicita la información de las secciones transversales del cauce como dato de entrada para generar la simulación hidráulica, para este caso se ingresaron las secciones transversales del cauce 150 metros aguas arriba de la obra de cruce y 150 metros aguas abajo de la misma. (Ver Planos).

5.2 Evaluación del Coeficiente de Manning.

El coeficiente de Manning, se determinó utilizando el método de Cowan, para ello se realizó una evaluación en sitio de las condiciones del cauce y un estudio aleatorio de suelos en las secciones principales (Ver Anexo B).

A continuación, se presenta el resumen del levantamiento de campo que se muestra en la Tabla 5.1, posteriormente en la Tabla 5.2, se muestra el resumen del cálculo del coeficiente de Manning para cada sección ingresada en HEC-RAS.

Tabla 5.1: Evaluación de Campo del Cauce.

Est.	Grado de Irregularidad	Variación de la Sección Transversal	Efecto Relativo de las Obstrucciones	Vegetación	Sinuosidad
0+000	Ligero	Gradual	Despreciable	Baja	Menor
0+030	Menor	Ocasional	Menor	Baja	Apreciable
0+060	Menor	Ocasional	Menor	Baja	Apreciable
0+090	Menor	Gradual	Despreciable	Baja	Menor
0+120	Ligero	Gradual	Despreciable	Baja	Menor
0+150	Ligero	Gradual	Menor	Baja	Apreciable
0+160	Ligero	Gradual	Menor	Baja	Apreciable
0+194	Ligero	Gradual	Menor	Baja	Apreciable
0+230	Menor	Ocasional	Menor	Baja	Apreciable
0+250	Ligero	Gradual	Despreciable	Baja	Menor
0+270	Menor	Gradual	Despreciable	Baja	Menor
0+300	Menor	Gradual	Despreciable	Baja	Menor

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.2: Cálculo del Coeficiente de Manning.

Estación	n0	n1	n2	n3	n4	n5	n
0+000	0.045	0.000	0.005	0.000	0.008	1.000	0.058
0+030	0.045	0.000	0.000	0.000	0.008	1.000	0.053
0+060	0.045	0.005	0.005	0.000	0.008	1.150	0.072
0+090	0.045	0.000	0.000	0.013	0.008	1.150	0.075
0+120	0.045	0.000	0.000	0.000	0.008	1.000	0.053
0+150	0.045	0.000	0.000	0.013	0.008	1.150	0.075
0+160	0.045	0.000	0.000	0.013	0.008	1.150	0.075
0+194	0.045	0.000	0.000	0.013	0.008	1.150	0.075
0+230	0.045	0.005	0.005	0.000	0.008	1.150	0.072
0+250	0.045	0.000	0.005	0.000	0.008	1.000	0.058
0+270	0.045	0.000	0.000	0.013	0.008	1.150	0.075
0+300	0.045	0.000	0.005	0.000	0.008	1.000	0.058

Fuente: Elaboración Propia.

5.3 Definición de Perfiles de Flujo.

HEC-RAS demanda el ingreso de los perfiles de flujo, es decir los caudales seleccionados para realizar la simulación hidráulica de la obra, los cuales se obtuvieron con los Períodos de Retorno utilizando HEC-HMS.

Por lo tanto, los caudales son los siguientes:

Nombre del Perfil	Caudal(mcs)	Período de Retorno	Observación
Qmin	2.80	10 años	Caudal Mínimo
Qdis	6.40	25 años	Caudal de Diseño
Q50	10.50	50 años	Caudal Máximo Ordinario
Qmáx	12.90	100 años	Caudal Máximo Extraordinario

Ver Tabla 4.5: Resumen de Caudales.

5.4 Datos Generales demandados por HEC-RAS.

Además de los información descrita anteriormente (Secciones Transversales, Coeficiente de Manning, Valores de Caudal), HEC-RAS requiere de la información adicional como la que se muestra en la Tabla 5.3, para realizar la simulación hidráulica de la obra.

Es importante destacar, que el programa realiza un procedimiento prácticamente automático basado en los principios de la Hidráulica, dichos procesos permiten optimizar tiempo y obtener resultados más precisos en el desarrollo del Diseño de Obras Hidráulicas en general.

A continuación, se muestran los parámetros de entrada de la alcantarilla ubicada en la sección 0+150.

Tabla 5.3: Datos de Entrada para la Seccíón de Alcantarilla.

Item	Valor	Observaciones
Culvert ID	Culvert #1	En este apartado, se nombra la alcantarilla a simular.
Solution Criteria	Highest U.S E.G	Selección del criterio de solución, en este caso el software utilizará el Método que genere más pérdidas.
Shape	Ellipse	Se propone usar alcantarillas, de forma elíptica de ejes iguales.
Span	1.5 m	Se propone usar alcantarillas de 1.5 m de largo.
Rise	1.5 m	Se propone usar alcantarillas de 1.5 m de altura.
Scale #	1-Square edge with headwall	Se usará una estructura con aletones.
Culvert Lenght	6 m	Se propone usar alcantarilla de 6 m que será el ancho de la vía.
Entrance Loss Coeff	0.5	El Coeficiente de Pérdidas en la Entrada es 0.5 para Alcantarillas.
Exit Loss Coeff	1	El Coeficiente de Pérdidas en la Salida es 1.0 para Alcantarillas.
Manning's n for Top	0.009	Se propone utilizar Tubería PVC Tipo RIB LOC en la construcción de la Alcantarilla.
Manning's n for Bottom	0.009	
Upstream Invert Elev	70.99	Elevación Invert propuesta Aguas Arriba
Downstream Invert Elev	70.90	Elevación Invert propuesta Aguas Abajo.
# Identical Barrels	2	Se propone utilizar una Alcantarilla Doble.

Fuente: HEC-RAS.

Así mismo, se proponen los siguientes valores de elevación para la rasante de la obra de cruce:

Tabla 5.4: Elevacion de la Rasante Aguas Arriba.

Upstream	
Station	**High Chord**
-10	73.15
-5.11	73.15
-4.36	73.15
-1.95	73.15
-0.12	73.15
0.5	73.15
1.98	73.15
2.21	73.15
3.02	73.15
3.26	73.15
10	73.15

Fuente: HEC-RAS.

Tabla 5.5: Elevación de la Rasante Aguas Abajo.

Downstream	
Station	**High Chord**
-10	73.15
-5.05	73.15
-4.29	73.15
0	73.15
2.12	73.15
3.14	73.15
3.38	73.15
10	73.15

Fuente: HEC-RAS.

5.5 Simulación Hidráulica de la Obra Propuesta.

Una vez ingresados los parámetros solicitados por el software, se procede a realizar la Simulación Hidráulica de la Obra Propuesta.

5.5.1 Propuesta Hidráulica.

- Material: Tubería Tipo RIB LOC.
- Coeficiente de Rugosidad de Manning: n=0.009.
- Velocidad Admisible del Material: 0.45 m/s-10.0 m/s.
- Diámetro de la Tubería: 1.50 metros (60 pulgadas).
- Número de Tuberías: 2.
- Pendiente de Tubería: 1.5 %.
- Relleno encima de la alcantarilla: 0.66 metros.

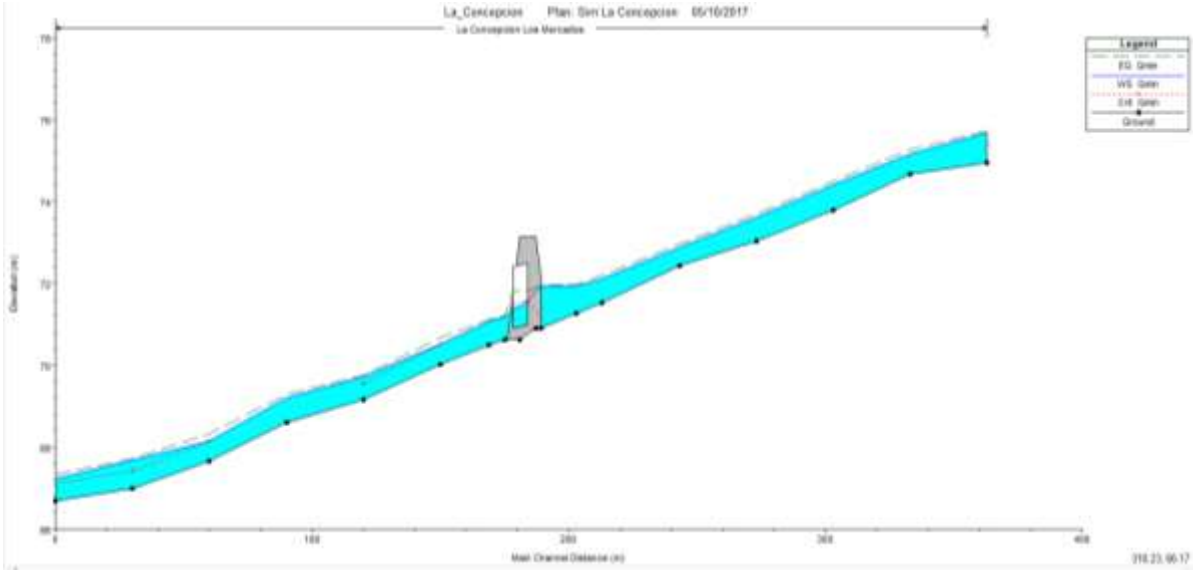
Nota Importante: El Coeficiente de Manning, Velocidad Admisible y Diámetro Comercial de la Tubería RIB-LOC se obtuvieron del (Condiciones de Instalación y Diseño RIB LOC,Durman Esquivel).

5.5.2 Perfiles de Flujo del Cauce Principal.

A continuación, se muestran los perfiles de flujo de cauce principal para los períodos de retorno seleccionados.

- **Período de Retorno de 10 años:**

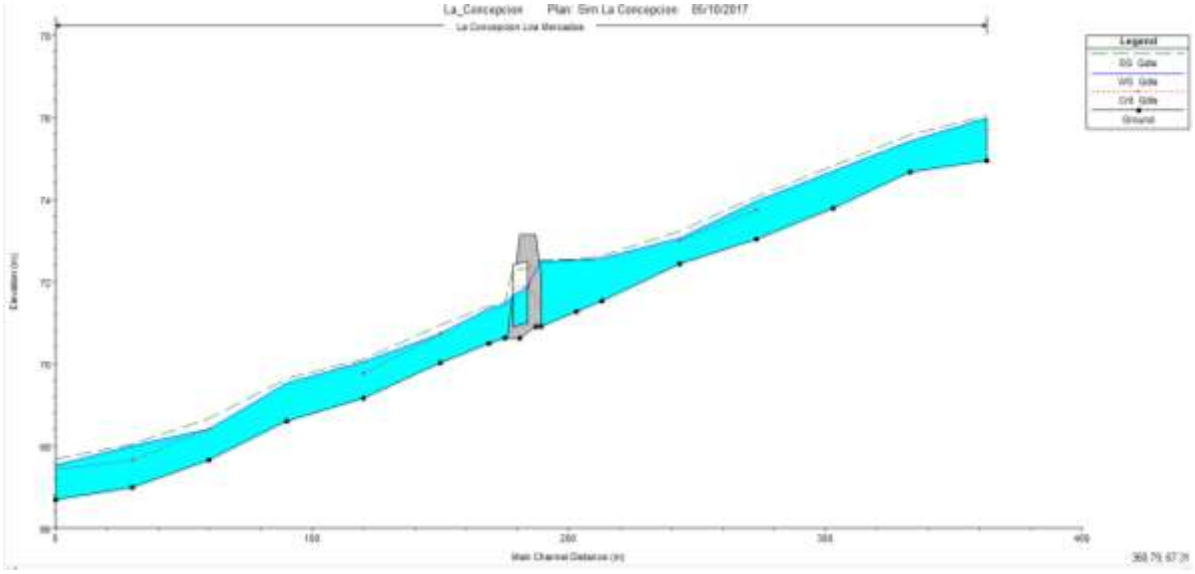
Figura 5.1: Perfil de Flujo generado por el Caudal Mínimo.



Fuente: HEC-RAS.

- **Período de Retorno de 25 años (Diseño):**

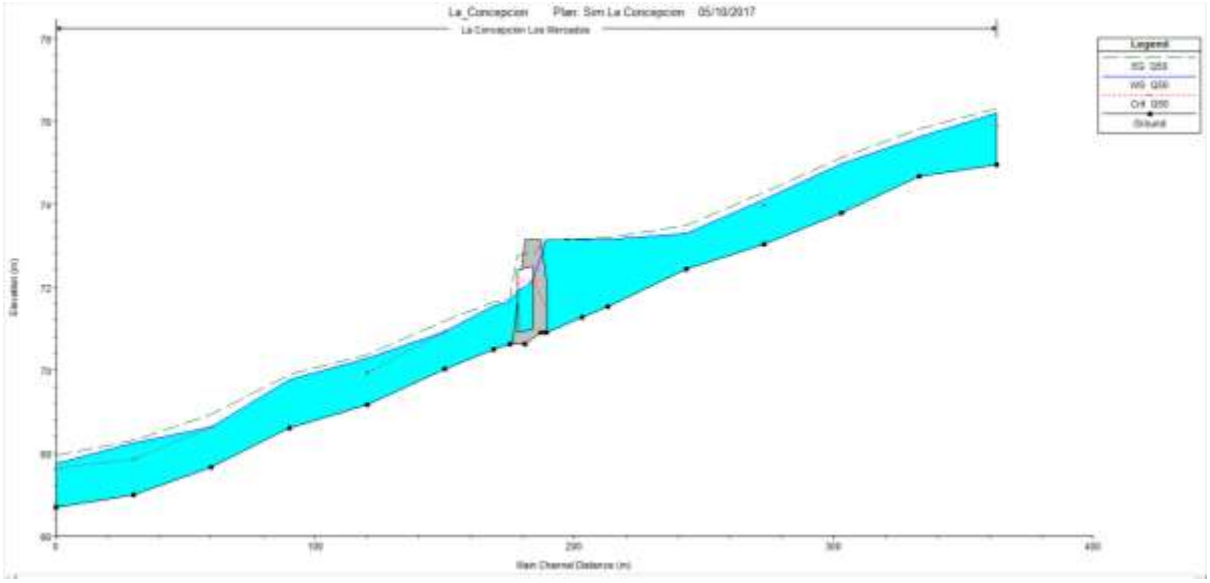
Figura 5.2: Perfil de Flujo Generado por el Caudal de Diseño.



Fuente: HEC-RAS.

- **Período de Retorno de 50 años:**

Figura 5.3: Perfil de Flujo generado por el Caudal Máximo Ordinario.



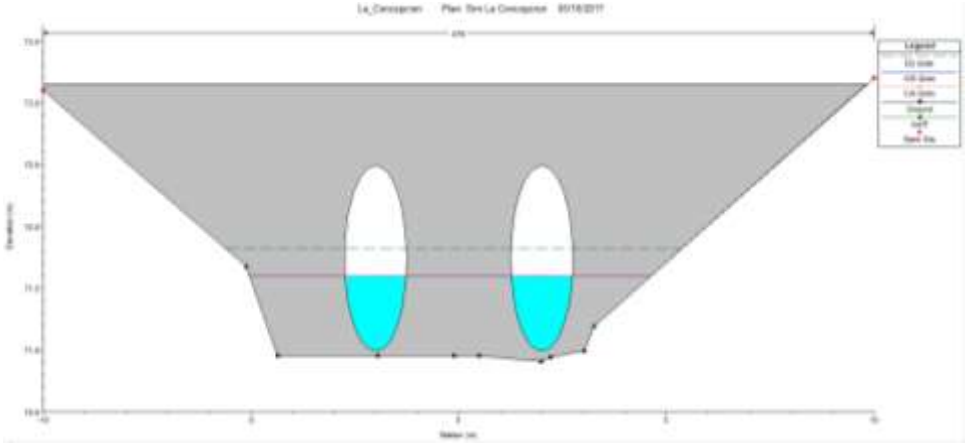
Fuente: HEC-RAS.

5.5.3 Simulación en la Sección de la Alcantarilla.

A continuación, se muestra la simulación de la sección de la alcantarilla aguas arriba y aguas abajo para los períodos de retorno seleccionados.

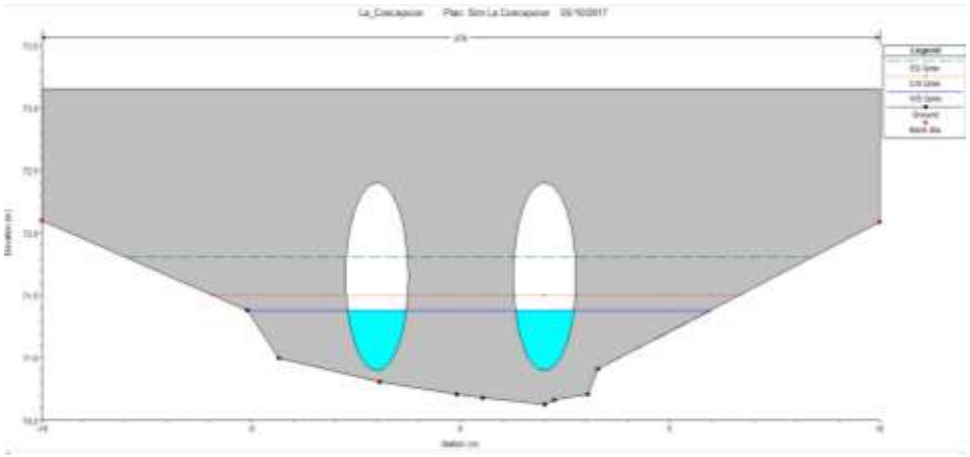
- **Período de Retorno de 10 años:**

Figura 5.4: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal Mínimo.



Fuente: HEC-RAS.

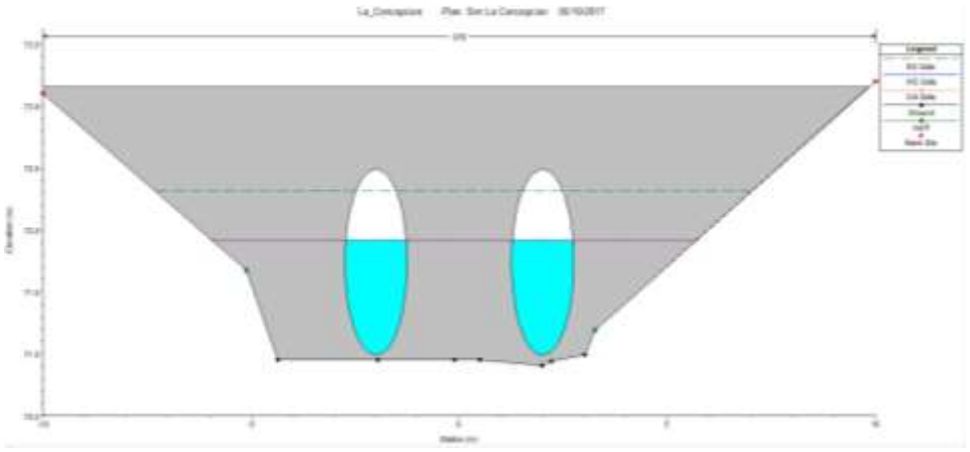
Figura 5.5: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal Mínimo.



Fuente: HEC-RAS.

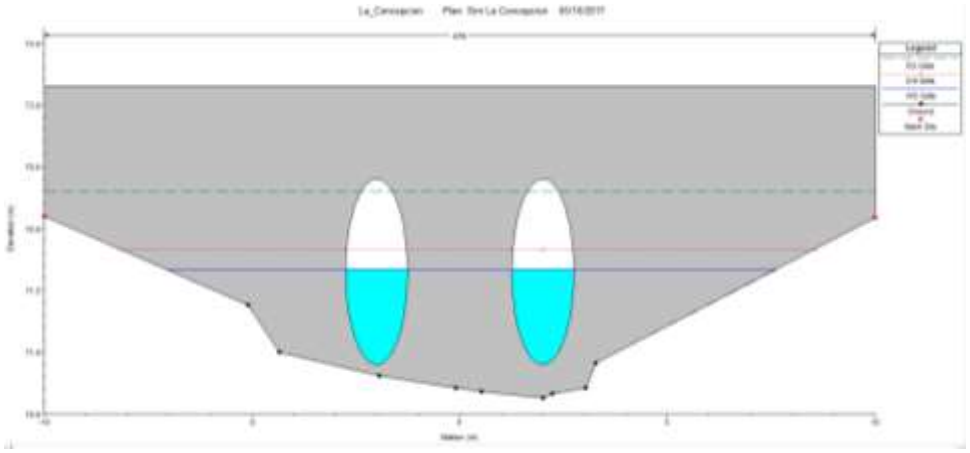
- **Período de Retorno de 25 años (Caudal de Diseño):**

Figura 5.6: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal de Diseño.



Fuente: HEC-RAS.

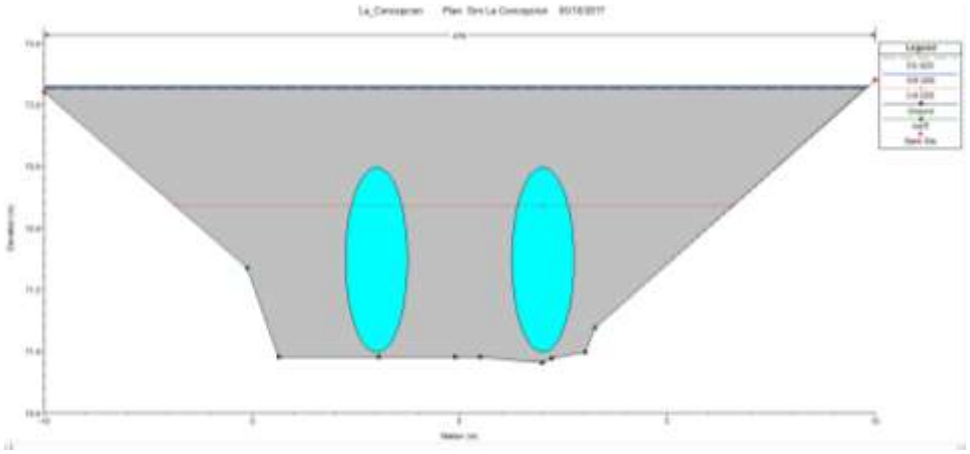
Figura 5.7: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal de Diseño.



Fuente: HEC-RAS.

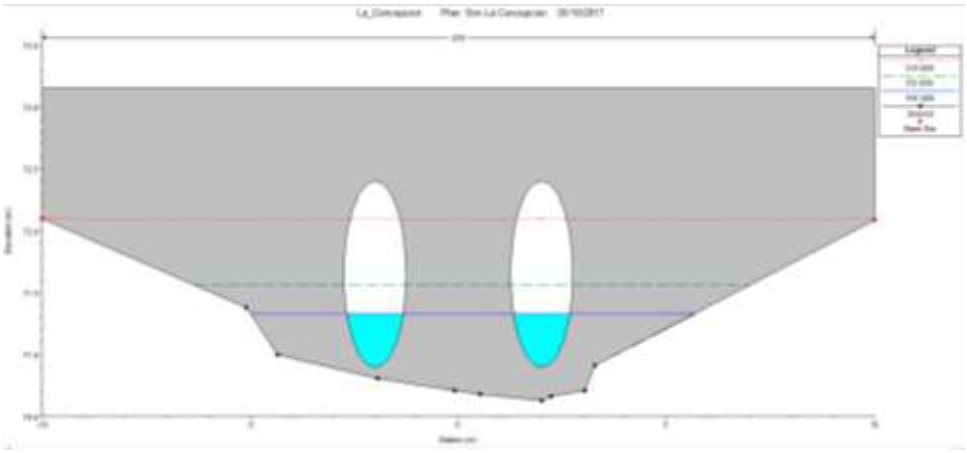
- **Período de Retorno de 50 años:**

Figura 5.8: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal Máximo Ordinario.



Fuente: HEC-RAS.

Figura 5.9: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal Máximo Ordinario.

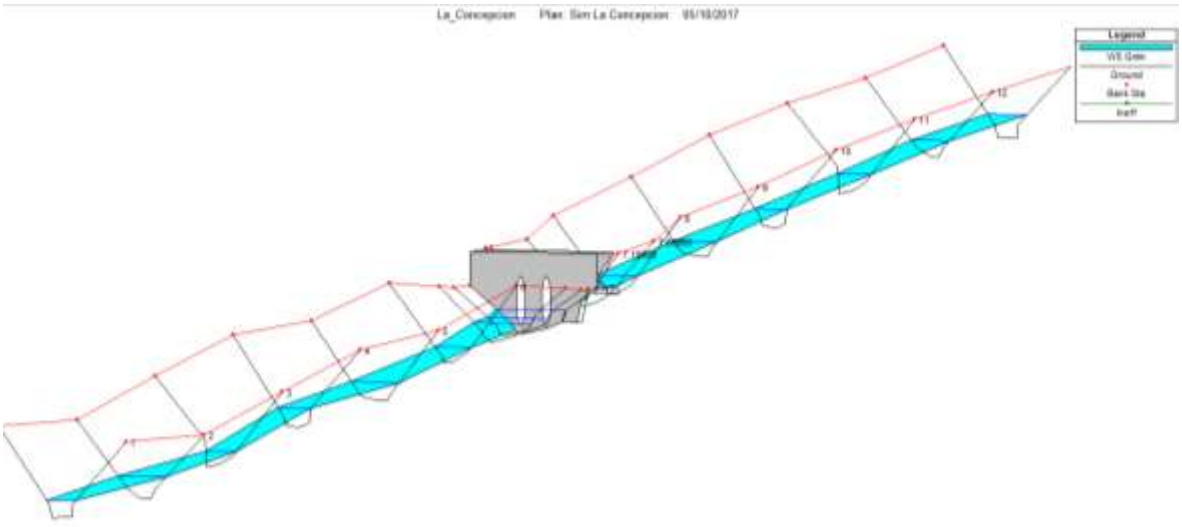


Fuente: HEC-RAS.

5.5.4 Perspectiva del Cauce.

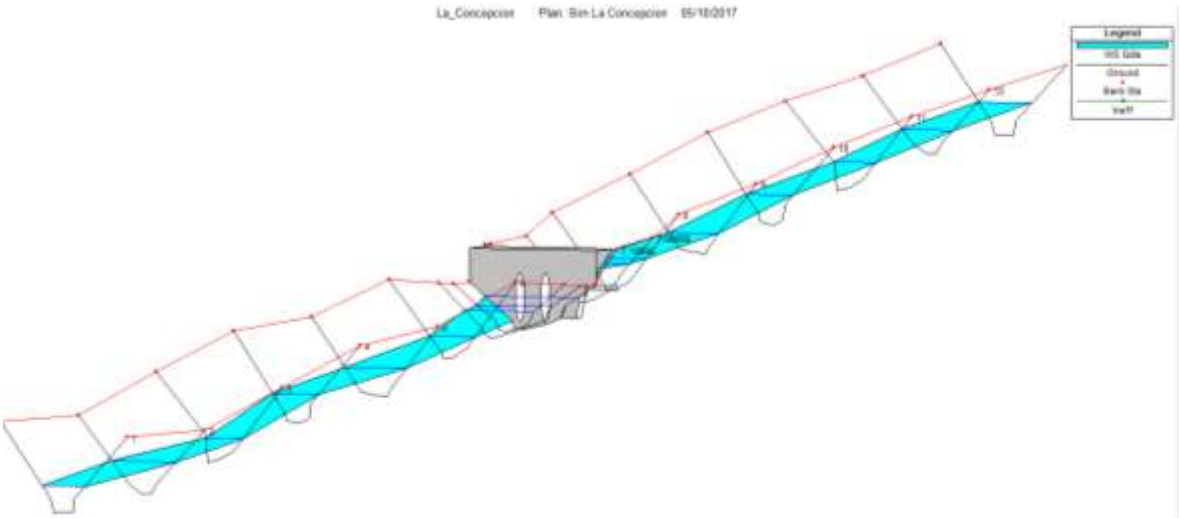
A continuación, se muestra la perspectiva de simulación hidráulica del cauce en total para los caudales correspondientes a los períodos de retorno seleccionados.

Figura 5.10: Perspectiva de Flujo Generada por el Caudal Mínimo.



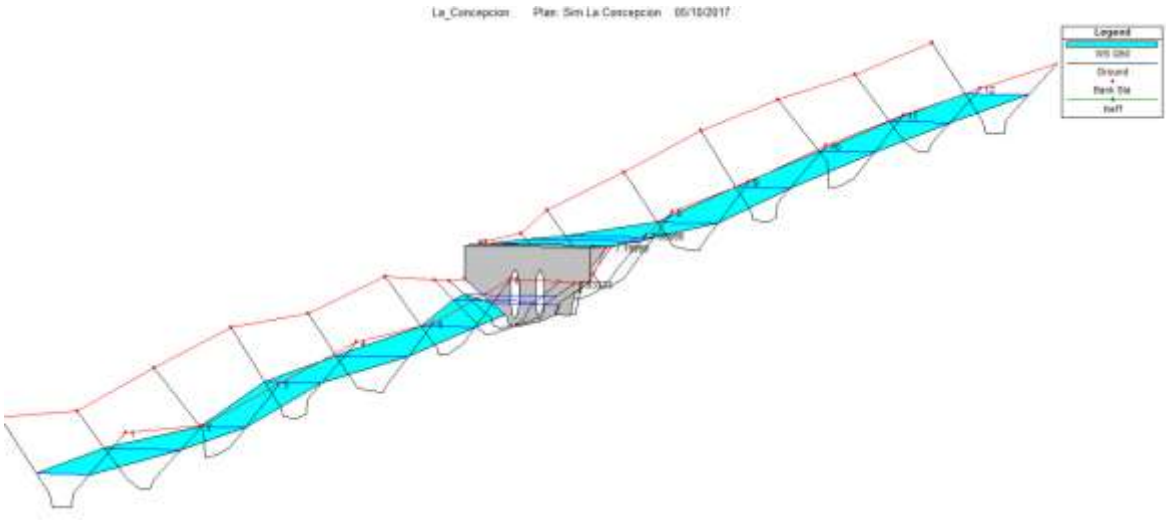
Fuente: HEC-RAS.

Figura 5.11: Perspectiva de Flujo generada por el Caudal de Diseño.



Fuente: HEC-RAS.

Figura 5.12: Perspectiva de Flujo generada por el Caudal Máximo Ordinario.



Fuente: HEC-RAS.

5.5.5 Resultados de Simulación Hidráulica de Alcantarilla.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados de la Simulación Hidráulica en la sección de la Alcantarilla, evaluados para el Caudal de Diseño, es decir para una Tormenta de Diseño con TR= 25 años.

Tabla 5.6: Resultados de Simulación Hidráulica de Alcantarilla.

River: La Concepcion	**Profile:** Qdis	**Culv Group**: Culvert #1	
Reach:Los Mercados	**RS:**7.1988	**Plan:**	SIMLC
Plan: SIMLC Los Mercados RS:7.1988		**Culv Group:** Culvert #1	**Profile:** Qdis
Q Culv Group (m3/s)	6.40	Culv Full Len (m)	6.00
# Barrels	2	Culv Vel US (m/s)	2.79
Q Barrel (m3/s)	3.00	Culv Vel DS (m/s)	3.34
E.G. US. (m)	72.51	Culv Inv El Up (m)	70.99
W.S. US. (m)	72.50	Culv Inv El Dn (m)	70.90
E.G. DS. (m)	71.49	Culv Frctn Ls (m)	0.02
W.S. DS. (m)	71.44	Culv Exit Loss (m)	0.81
Delta EG (m)	1.02	Culv Entr Loss (m)	0.2
Delta WS (m)	1.01	Min El Weir Flow (m)	73.15
E.G. IC (m)	72.41		
E.G. OC (m)	72.51		
Culvert Control	Outlet		
Culv WS Inlet (m)	71.92		
Culv WS Outlet (m)	71.73		
Culv Nml Depth (m)	0.58		
Culv Crt Depth (m)	0.93		

Fuente: HEC-RAS.

Así mismo, se muestran los resultados de la Simulación Hidráulica en el cauce principal:

Tabla 5.7: Resultados de Simulación Hidráulica en el Cauce Principal.

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Los Mercados	13	Qdis	6.40	74.94	75.97	75.67	76.05	0.011246	1.25	5.13	8.51	0.51
Los Mercados	12	Qdis	6.40	74.66	75.41		75.56	0.024438	1.73	3.7	8.07	0.81
Los Mercados	11	Qdis	6.40	73.78	74.69		74.83	0.024327	1.63	3.92	6.82	0.69
Los Mercados	10	Qdis	6.40	73.03	73.96	73.74	74.07	0.026042	1.45	4.43	7.55	0.60
Los Mercados	9	Qdis	6.40	72.43	73.06	73.02	73.23	0.029268	1.83	3.49	8.00	0.88
Los Mercados	8	Qdis	6.40	71.53	72.56		72.62	0.013838	1.09	5.88	9.70	0.45
Los Mercados	7.66666	Qdis	6.40	71.27	72.52		72.54	0.004114	0.67	9.49	12.98	0.25
Los Mercados	7.19999	Qdis	6.40	70.91	72.50	71.46	72.51	0.000955	0.40	15.88	15.61	0.13
Los Mercados	7.1988		Culvert									
Los Mercados	6.83333	Qdis	6.40	70.63	71.44		71.49	0.015913	1.05	6.07	11.75	0.47
Los Mercados	6.63333	Qdis	6.40	70.49	71.34		71.4	0.014937	1.08	5.93	10.99	0.47
Los Mercados	6	Qdis	6.40	70.03	70.73	70.73	70.95	0.038792	2.06	3.10	7.31	1.01
Los Mercados	5	Qdis	6.40	69.17	70.04	69.76	70.11	0.014252	1.13	5.64	9.73	0.48
Los Mercados	4	Qdis	6.40	68.61	69.52		69.63	0.017169	1.50	4.26	7.39	0.63
Los Mercados	3	Qdis	6.40	67.66	68.41	68.41	68.66	0.079623	2.20	2.91	5.92	1.00
Los Mercados	2	Qdis	6.40	66.98	67.99	67.66	68.05	0.007582	1.05	6.11	10.22	0.43
Los Mercados	1	Qdis	6.40	66.68	66.68	67.41	67.68	0.023024	1.77	3.61	6.87	0.78

Fuente: HEC-RAS.

5.5.6 Interpretación de Resultados Hidráulicos.

Respecto a la Simulación Hidráulica del Cauce Principal, se tiene el siguiente análisis:

- Para un caudal de 6.40 mcs (Caudal de Diseño), ninguna sección sufre colapso de flujo (Ver Anexo F), esto es fácilmente comprobable en sitio debido a que el cauce se encuentra entre dos cerros de más de 40 metros de altura.

- La mayoría de la velocidades de las secciones se encuentran el rango de 1 a 2, siendo la velocidad promedio de 1.37 m/s.

- En su mayoría los Números de Froude de las secciones son menores a 1, lo que implica que el Flujo es del Tipo Sub-Crítico.

Respecto a la Simulación Hidráulica de Alcantarilla, se tiene el siguiente análisis.

- **Para el Caudal Mínimo:**

  El Perfil de Flujo generado por este caudal, muestra el comportamiento del Tirante y la Línea de Energía en el cauce y en la obra. Respecto a la Simulación Hidráulica de Alcantarilla, se observa, que la obra no sufre colapso de flujo y trabaja como un Canal Circular con entrada y salida parcialmente llena.

- **Para el Caudal de Diseño:**

  El Perfil de Flujo generado por un caudal de 6.40 mcs, muestra el comportamiento del Tirante y la Línea de Energía en el cauce y en la obra. Respecto a la Simulación Hidráulica de Alcantarilla, se observa, que la obra no sufre colapso de flujo y trabaja como un Canal Circular con entradas y salidas no llenas.

  La obra se comporta como Alcantarilla con Control a la Salida, y se tienen los siguientes parámetros:

  Velocidades.
  Velocidad Aguas Arriba: 2.79 m/s.
  Velocidad Aguas Abajo: 3.39 m/s.

  Profundidades.
  Profundidad Crítica: 0.93 metros.
  Profundidad Normal: 0.58 metros.
  Como la profundidad normal es menor que la profundidad crítica, por lo tanto el flujo es Supercrítico.

- **Para el Caudal Máximo Ordinario:**

  El Perfil de Flujo generado por un caudal de 10.50 mcs, muestra el comportamiento del Tirante y la Línea de Energía en el cauce y en la obra. Respecto a la Simulación Hidráulica de Alcantarilla, se observa que la alcantarilla se ahoga en la Entrada, pero que la obra no funciona como Vertedero, es decir el tirante máximo no supera la elevación de la rasante propuesta.

Esta última razón expuesta, fue de suma importancia respecto a la aceptación de la Propuesta Planteada, debido a que dicha propuesta se comporta satisfactoriamente ante los Caudales Mínimo y de Diseño, y ante el Caudal Máximo Ordinario no funciona como vertedero. Basta entonces con revisar si la obra cumple con los Criterios de Diseño para su aceptación.

5.5.7 Revisión de los Parámetros de Diseño propuestos por el Marco Metodológico del MTI.

Dados los cálculos anteriores, se propone la siguiente sección:

- Material: Tubería Tipo RIB LOC.
- Coeficiente de Rugosidad de Manning: n=0.009.
- Velocidad Admisible del Material: 0.45 m/s-10.0 m/s.
- Diámetro de la Tubería: 1.50 metros (60 pulgadas).
- Número de Tuberías: 2.
- Elevación Invert Entrada: 70.99 m
- Elevación Invert Salida: 70.90 m
- Longitud de la Alcantarilla: 6.0 m
- Relleno encima de la alcantarilla: 0.66 metros.

La dimensión interna propuesta de las alcantarillas, es de 60”. Dicha sección permite su limpieza y conservación y es mayor a la dimensión mínima de 30” definida por el Marco Metodológico del MTI.

Respecto al material propuesto para la alcantarilla es Tubería de Cloruro de Polivinilo (PVC) Tipo RIB LOC, este material es aceptable por el Manual de Estudios Hidrotécnicos del Marco Metodológico del MTI.

En cuanto al relleno por encima de la alcantarilla se propone una altura de 0.66 m, dicha cobertura es mayor a 0.60 m que recomienda el Marco Metodológico del MTI para caminos secundarios.

En relación a la pendiente longitudinal de la alcantarilla, se plantea utilizar un valor de 1.5%, que es mayor al valor mínimo de 1.0% propuesto por el Marco Metodológico del MTI para evitar azolvamientos.

En lo que corresponde a las velocidades en la alcantarilla, para el caudal de diseño se tienen los siguientes valores: 2.79 m/s Aguas Arriba y 3.39 m/s Aguas Abajo, de acuerdo con las Especificaciones técnicas de la tubería RIB LOC, el intervalo admisible de velocidades es entre 0.45 m/s y 10.0 m/s, por lo tanto las velocidades calculadas se encuentran en el rango admisible.

5.5.8 Aceptación de la Propuesta Hidráulica Planteada.

Una vez revisados y aceptados todos los Criterios de Diseño de la Obra, procedemos a realizar la aprobación de la misma, es decir la solución hidráulica para El Punto “La Velazqueña”, es la Propuesta Hidráulica evaluada en el apartado 6.6.7.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

Como resultado del trabajo realizado, incluyendo visitas de campo, recolección y tratamiento de información y evaluaciones técnicas del comportamiento hidrológico e hidráulico del proyecto, se establecen las siguientes conclusiones.

La cuenca hidrográfica delimitada respecto al Punto “La Velazqueña” presenta las siguientes características físicas:

- Respecto al área, la cuenca se clasifica como pequeña.
- De acuerdo al Indice de Compacidad, la cuenca se clasifica como Oval Oblonga a Rectangular Oblonga.
- Existe el Rectángulo Equivalente, por lo tanto la cuenca es de forma irregular.
- Se clasifica como muy poco achatada, respecto al Factor de Forma.
- Según su Elevación Media, la cuenca se cataloga como Baja.
- El Cauce Principal de la cuenca, se clasifica como corto y presenta pendiente moderada.

El relieve de la cuenca hidrográfica representado por la curva Hipsométrica, se dividió en las siguientes zonas:

- Zona Baja: Comprendida entre 500-525 msnm aproximadamente.
- Zona Media: Comprendida entre 525-675 msnm aproximadamente.
- Zona Alta: Comprendida entre 675-775 msnm aproximadamente.

En referencia a la (Figura 4.5: Curva Hipsométrica Zonificada), la zona media y baja de la cuenca presentan una pendiente moderada y constante, mientras la zona alta de la cuenca presenta una pendiente alta y brusca.

Se espera que la cuenca no esté propensa a las avenidas o las crecientes, debido a su forma irregular, por lo que su respuesta ante los eventos normales de precipitación se espera sea rápida, de acuerdo a la Interpretación de los parámetros físicos de la cuenca.

La cuenca hidrográfica se dividió en 07 sub-cuencas y se utilizaron 05 puntos de control (Incluyendo el punto de cierre), para definir el Modelo Hidrológico de Drenaje; en el caso de la escorrentía se evalúo utilizando el mapa de Número de Curva que genera un valor promedio de CN=45.70%, que es un valor acertado para las condiciones actuales de la cuenca (Vegetación media, zona semi-poblada y de pendientes moderadas a altas).

El Período de Retorno, recomendado por el Marco Metodológico del MTI es de 25 años, sin embargo se evaluaron períodos de 10 años(Caudal Mínimo), 50 años (Caudal Máximo Ordinario), 100 años(Caudal Máximo Extraordinario evaluado de forma complementaria), para ello se seleccionaron Hietogramas de Diseño de la Estación Masatepe con duración de 02 horas. A continuación, se resumen dichos caudales:

Tabla 4.5: Resumen de Caudales

Período de Retorno	Caudal(mcs)	Tiempo Pico	Observación
10 años	2.80	02h 45min	Caudal Mínimo
25 años	6.40	02h 45min	Caudal de Diseño
50 años	10.50	02h 45min	Caudal Máximo Ordinario
100 años	12.90	02h 45min	Caudal Máximo Extraordinario

Fuente: Elaboración Propia.

El caudal pico se alcanza a las 02 horas 45 minutos, respecto a la forma de los hidrogramas se verifica que la cuenca presenta una respuesta rápida ante los eventos de precipitación, esto demuestra una armonía y compatibilidad entre la morfometría de la cuenca y los hidrogramas de escurrimiento.

La obra hidráulica propuesta para el punto “La Velazqueña”, es la siguiente:

- Material: Tubería Tipo RIB LOC.
- Coeficiente de Rugosidad de Manning: n=0.009.
- Velocidad Admisible del Material: 0.45 m/s-10.0 m/s.
- Diámetro de la Tubería: 1.50 metros (60 pulgadas).
- Número de Tuberías: 2.
- Elevación Invert Entrada: 70.99 m
- Elevación Invert Salida: 70.90 m
- Longitud de la Alcantarilla: 6.0 m
- Relleno encima de la alcantarilla: 0.66 metros.

Respecto a la simulación de la obra propuesta:

- La obra se comporta satisfactoriamente para el caudal mínimo (TR=10 años), no sufre ningún desborde y la obra funciona como un canal circular, con entrada y salida parcialmente llena.

- Para el caudal de diseño (TR= 25 años), la obra no sufre ningún desborde ni colapso de flujo, trabajo como un canal circular con entrada y salida parcialmente llena, el flujo através de la alcantarilla es del tipo subcrítico, la velocidad en la entrada es de 2.79 m/s y en la salida es de 3.39 m/s, ambas en el rango de velocidades admisibles del material.

- Para el caudal máximo ordinario (TR=50 años), la alcantarilla trabaja con entrada llena y salida parcialmente llena, el tirante máximo no alcanza la altura de la rasante propuesta, por lo tanto la obra no trabaja como vertedero.

- Para el caudal máximo extraordinario (TR=100 años), evaluado de forma complementaria (Ver Anexo G), la obra propuesta colapsa y trabaja como vertedero, debido a que el tirante de agua supera la rasante de la obra, pero debido a que la zona es una zona en desarrollo, semi-poblada, y la carretera es secundaria; realizar un diseño para que responda a este caudal implica obras de mayor capacidad y por ende de mayor costo.

Debido a que la obra hidráulica, responde de forma acertada ante las demandas de caudal, y cumple con los criterios de diseño recomendados por el MTI (Ver Apartado 5.5.7: Revisión de los Parámetros de Diseño propuestos por el Marco Metodológico del MTI), la obra se acepta y se propone como solución al problema planteado.

6.2 Recomendaciones.

Dentro de las recomendaciones cabe destacar:

1. Se establece como recomendación implementar un manejo integral de la cuenca hidrográfica, para que en condiciones futuras se pueda regular la escorrentía superficial. Las instituciones correspondientes deberán evaluar y proponer la ubicación de asentamientos humanos, así como la definición de áreas verdes u otras medidas que permitan magnificar la infiltración de la cuenca.

2. Se recomienda realizar un estudio de suelos más preciso principalmente en la sección de la obra propuesta, para obtener una estratigrafía más detallada y una definición amplia de las propiedades físicas y mecánicas del mismo.

3. En el desarrollo de este tema monográfico, se elaboró la Propuesta Hidráulica de Dimensionamiento del Punto “La Velazqueña”, en caso de dar continuidad a este trabajo, se requiere realizar el diseño estructural correspondiente para dimensionar los elementos estructurales que conformarán la obra.

Referencias Bibliográficas.

- Alcaldía de Managua. (2012). Reglamento de Drenaje Pluvial para el Municipio de Managua. Managua.
- Aparicio Mijares, F. J. (2005). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa.
- Bateman, A. (2007). Hidrología Básica y Aplicada. Lima.
- Chereque Morán, W. (s.f.). Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil (Segunda ed.). Lima, Perú.
- Chow, V. T. (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. Illinois: Mc Graw Hill.
- Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.
- Chow, V. T. (1998). Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Durman Esquivel. (s.f.). Condiciones de Instalación y Diseño RIB LOC.
- E.Lorenzo, D. &. (2009). Cálculo de Alcantarillas. MonteVideo, Uruguay.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico (Segunda Edición ed.). WASA-GN.
- Jardí, M. (1985). Forma de una Cuenca de Drenaje. Revista de Geografía, XIX.
- Lanza Mejía, N. J. (2008). Introducción a la Hidrotecnia Vial. Managua.
- Lanza Mejía, N. J. (2012). Análisis Hidráulico de Puente. Managua.
- Lanza Mejía, N. J. (2012). Capítulo 8. Manual de HEC-RAS. Managua.
- Lanza Mejía, N. J. (2012). Hidráulica de Canales. Capítulo 3. Managua.
- Lanza Mejia, N. J. (2012). Hidrología para Ingenieros Civiles. Managua.
- Magette. (1986). Morphometry of Drainage Basins.

- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2008). Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor. Managua.
- Sanchez, F. (1998). Cálculo de la Precipitación Neta mediante el Método S.C.S. España.
- Soil Conservation Service. (1974). Chapter 9 Hydrologic Soil Groups. Washington.

ANEXOS.

ANEXO A: Planteamiento del Problema.

La zona de estudio se localiza en las comunidades: Los Velázquez y Los Mercados en el municipio de La Concepción, Masaya, donde las corrientes de agua representan una amplia problemática para las entidades gubernamentales.
Esta situación obliga a construir obras de drenaje, para garantizar la evacuación de las aguas pluviales y prevenir daños mayores a la red vial.

Existen diversos factores como la fuerte pendiente en la zona de estudio, el tipo y uso de suelo que modifican la capacidad de infiltración de la cuenca, generando mayor escurrimiento de agua debido a los eventos de precipitación.

Durante la estación lluviosa, se producen fuertes avenidas las cuales concurren en un punto crítico, produciendo una turbulencia que genera en un colapso de flujo. Esto imposibilita la circulación vehicular entre las comunidades antes mencionadas con el casco urbano del municipio, debido a que los conductores se ven obligados a esperar que las corrientes disminuyan, afectando también las actividades económicas principales, tales como: la comercialización de pitahaya, cítricos y artesanía.

De no resolverse el problema de comunicación, se producirán grandes pérdidas económicas para el municipio y las 600 familias que habitan en las comunidades aledañas. Así mismo, se tendrán afectaciones en el mercado local que se traducen en una disminución de la oferta de productos locales.

ANEXO B: Estudio de Suelos.

ANEXO B.I: Ubicación de Sondeos.



Fuente: Google EARTH.

De los sondeos realizados, se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla B.I: Resumen de Muestras.

Muestra	Tara	P.R.P #4(gr)	Pasa #4(gr)	P.S.S(gr)	P.R.P #10(gr)	P.R.P #40(gr)	P.R.P #200(gr)	PASA #200(gr)
Eje 1 (Los Mercados)	K-96	101.3	2044.0	150.0	8.2	37.5	79.6	24.7
Eje 2 (San Juan)	MB-2	495.7	2000.0	150.0	19.0	51.5	58.8	20.7
Eje Central	SM4-TR30	55.4	2319.0	150.0	6.7	73.4	64.2	5.7

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar los estudios en el laboratorio de suelos, se consiguieron los siguientes resultados.

1. Para muestra del Eje 1 hacia (Los Mercados), se tiene la granulometría de la grava.

Tabla B.II: Granulometría de Gravas Eje 1.

Tamiz	P.R.P(gr)	% R.P	%R.A	% PASA
3/8´´	33.2	2	2	98
# 4	68.1	3	5	95
Pasa #4	2044.0	95	100	
Total	2145.3	100		

Fuente: Elaboración Propia.

De la granulometría de las arenas se tiene lo siguiente:

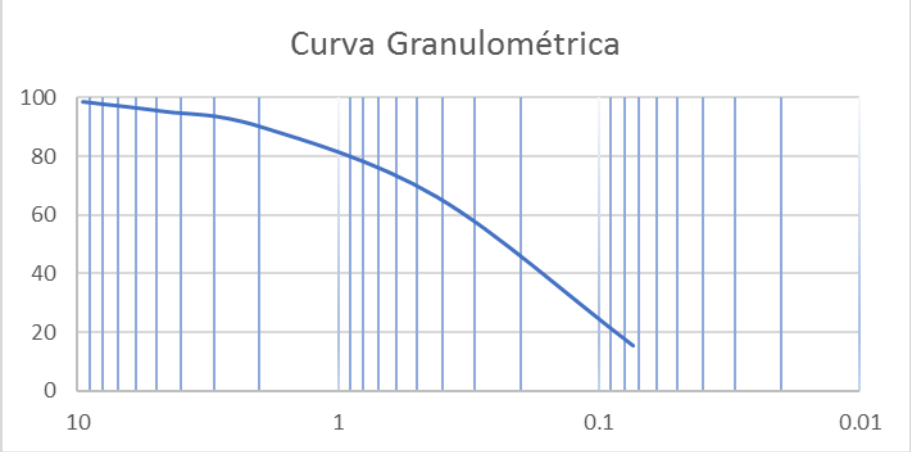
Tabla B.III: Granulometría de Arenas Eje 1.

Tamiz	P.R.P(gr)	%R.P	%RC	%RA	%PASA
# 10	8.2	5	5	10	90
# 40	37.5	25	24	34	66
# 200	79.6	53	51	84	16
Pasa #200	24.7	16	16	100	
Total	150	100	95		

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar todos los estudios correspondientes se determinó la siguiente curva:

Figura B.I: Curva Granulométrica Eje 1.



Fuente: Microsoft Excel.

Tabla B.IV: Resumen Eje 1.

Material	Porcentaje
GRAVAS	5
ARENAS	76
FINOS	15

Fuente: Elaboración Propia.

Obsérvese que como en la tabla y en la curva el tipo de suelo predominante es del tipo arenoso-limoso (SM), según Sistema de Clasificación Universal de los Suelos de la ASTM (SUCS).

2. Para muestra del Eje 2 (Hacia San Juan), se tiene la siguiente granulometría de grava.

Tabla B.V: Granulometría de Gravas Eje 2.

Tamiz	P.R.P(gr)	% R.P	%R.A	% PASA
3/8´´	224.8	9	9	91
# 4	270.9	11	20	80
Pasa #4	2000.0	80	100	
Total	2495.7	100		

Fuente: Elaboración Propia.

De la granulometría de las arenas se tiene lo siguiente:

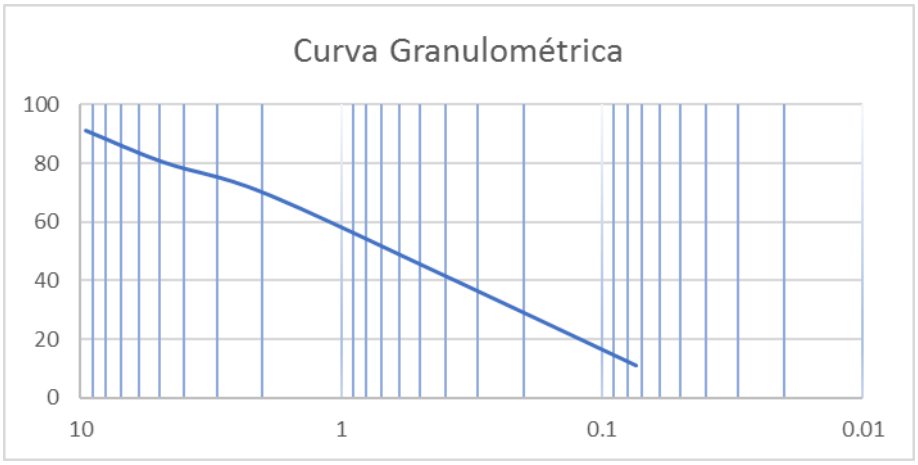
Tabla B.VI: Granulometría de Arenas Eje 2.

Tamiz	P.R.P(gr)	%R.P	%RC	%RA	%PASA
# 10	19.0	13	10	30	70
# 40	51.5	34	28	58	42
# 200	58.8	39	31	89	11
Pasa #200	20.7	14	11	100	-
Total	150	100	80	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar todos los estudios correspondientes se determinó la siguiente curva:

Figura B.II: Curva Granulométrica Eje 2.



Fuente: Microsoft Excel.

Tabla B.VII: Resumen Eje 2.

Material	Porcentaje
GRAVAS	20
ARENAS	55
FINOS	9

Fuente: Elaboración Propia.

Obsérvese que como en la tabla y en la curva el tipo de suelo predominante es del tipo arenoso con presencia de grava (SG), según Sistema de Clasificación Universal de los Suelos de la ASTM (SUCS).

3. Para muestra del Eje Central, se tiene la siguiente Granulometría de la Grava.

Tabla B.VIII: Granulometría de Gravas Eje Central.

Tamiz	P.R.P(gr)	% R.P	%R.A	% PASA
3/8´´	6.9	0	0	100
# 4	48.1	2	2	98
Pasa #4	2319.0	98	100	
Total	2374	100		

Fuente: Elaboración Propia.

Para la determinación de la granulometría de las arenas se tiene lo siguiente:

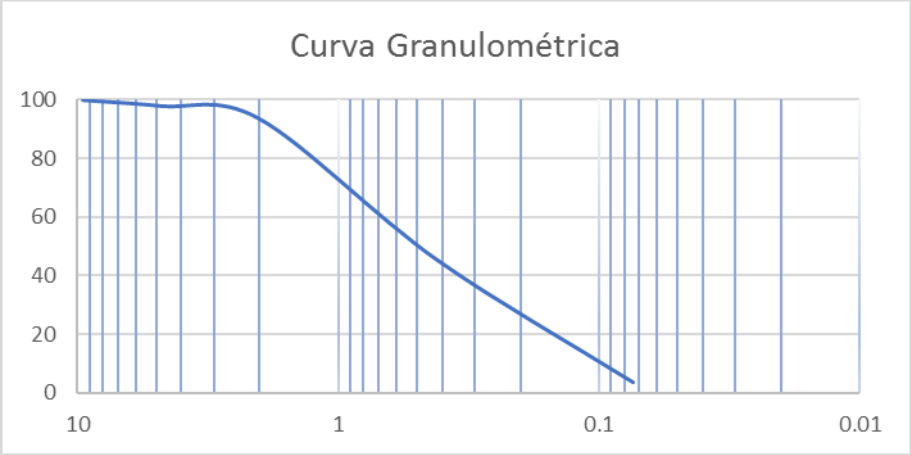
Tabla B.IX: Granulometría de Arenas Eje Central.

Tamiz	P.R.P(gr)	%R.P	%RC	%RA	%PASA
# 10	6.7	4	4	7	93
# 40	73.4	49	48	54	46
# 200	64.2	43	42	96	4
Pasa #200	5.7	4	4	100	
Total	150	100	98		

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar todos los estudios correspondientes se determinó la siguiente curva:

Figura B.III: Curva Granulométrica Eje Central.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla B.X: Resumen Eje Central.

Material	Porcentaje
GRAVAS	2
ARENAS	92
FINOS	4

Fuente: Elaboración Propia.

Obsérvese que como en la tabla y en la curva el tipo de suelo predominante es del tipo arena mal graduada (SW), según Sistema de Clasificación Universal de los Suelos de la ASTM (SUCS).

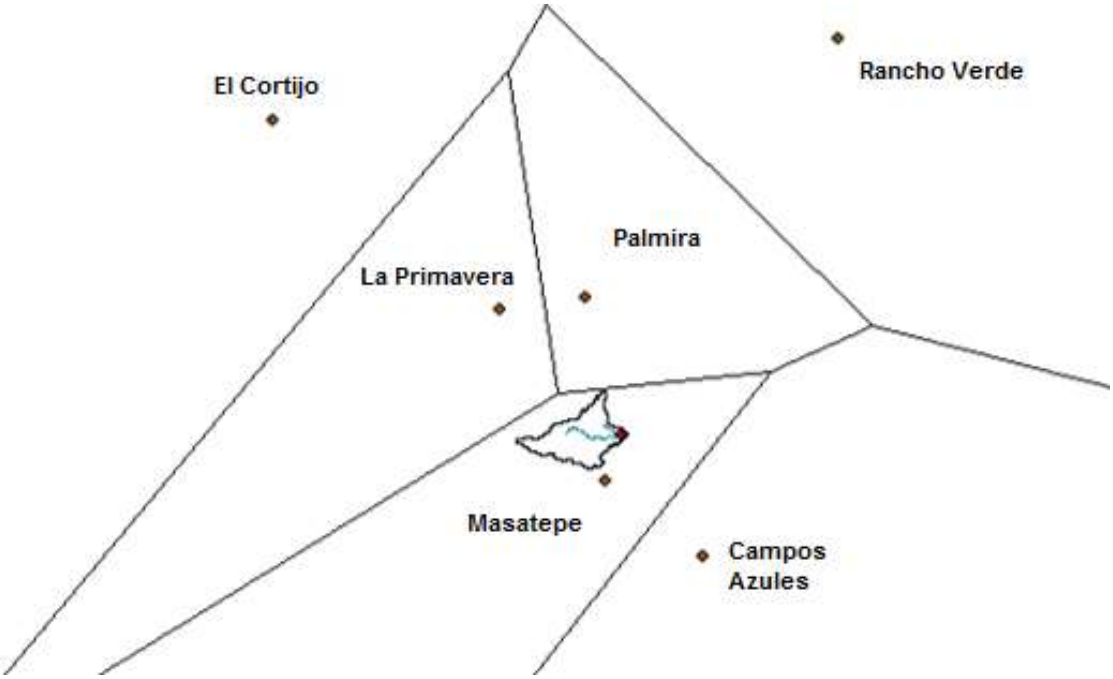
ANEXO C: Mapas.

ANEXO C.I: Mapa de Cuencas Hidrográficas de Nicaragua.



Fuente: INSTITUTO DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER).

ANEXO C.VIII: Polígonos de Thiesen.



Fuente: Arc-GIS.

ANEXO D: Planos.

La propuesta hidráulica de dimensionamiento, se representó gráficamente por medio de planos utilizando el programa AUTO-CAD, dichos planos son los siguientes:

- Ubicación General de la Alcantarilla.
- Sección de Alcantarilla.
- Detalles de Aletón.
- Perfil del Cauce Principal.
- Secciones Transversales.

ANEXO E: Tablas.

ANEXO E.I: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Criterios para la asignación de simbolos de grupo y nombre del grupo con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de suelos	
				Simbolo de grupo	Nombre del grupo
Suelos de partículas gruesas mas del 50 % es retenido en la maya No 200	**Gravas** más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No4	Gravas limpias Menos del 5 % pasa la malla No 200.	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc <3	GW	Grava bien graduada
			Cu < 4 y 1 > Cc >3	GP	Grava mal graduada
		Gravas con finos Menos del 12 % pasa la malla No 200.	Ip< 4 o debajo de la linea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
			Ip> 7 o arriba de la linea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
		Gravas limpias y con finos Entre el 5 % y 12% pasa la malla No 200.	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
			Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo
			Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla
	Arenas El 50% o más de la fracción gruesa es retenida en la malla No4	Arenas limpias Menos del 5 % pasa la malla No 200.	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc <3	SW	Arena bien graduada
			Cu <6 y 1 > Cc >3	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos Más del 12 % pasa la malla No 200.	Ip< 4 o debajo de la linea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
			Ip> 7 o arriba de la linea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
		Arenas limpias y con finos Entre el 5 % y 12% pasa la malla No 200.	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
			Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
			Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo
			Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla
Suelos de partículas Finas el 50 % o más pasa la malla No 200	**Limos y arcillas** limite y liquido menor que 50	Inorgánicos	Ip> 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la linea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
			Ip<4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la linea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánicos	Límite liquido- Secado al horno / Límite liquido- No secado < 0.75	OL	Arcilla orgánica / Limo orgánica
	Limos y arcillas limite y liquido mayor que 50	Inorgánicos	Ip> 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la linea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
			Ip<4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la linea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánicos	Límite liquido- Secado al horno / Límite liquido- No secado < 0.75	OH	Arcilla orgánica / Limo orgánica
Suelos altamente orgánico	Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	Turba
Elaborado por: Ing. Iván Matus Lazo y Ing. Marvín Blanco Rodríguez					

Fuente: Mecánica de Suelos, Juarez Badillo**.**

ANEXO E.II: Clasificación Funcional de las Carreteras.

Item	CRITERIOS	I	II	III	IV	V
		TRONCALES		COLECTORES		VECINALES
		PRINCIPALES	SECUNDARIOS	PRINCIPALES	SECUNDARIOS	
A	Importancia en la red vial a nivel de la región Centroamericana	1) Parte de la red vial de Centroamérica				
B	Importancia en la Red Vial a nivel Nacional de Nicaragua	2) Conectan cabeceras departamentales o centros urbanos con más de 50 mil habitantes	1) Conectan centros cabeceras Departamentales (o centros económicos importantes) 2) Dan acceso a puestos de fronteras) Teotecacinte, Puerto Morazán 3) Se usan como conexión entre dos caminos Principales Troncales			
C	Importancia en la Red Vial a nivel Regional de Nicaragua			1) Conectan una o varias CabecerasMunicipales con un número total de más de 10 mil habitantes a la red nacional 2) Conectan una zona con un número total de más de 10 mil habitantes a la red nacional 3) Se usa como conexión entre dos caminos troncales secundarios	1) Conectan una zona o un municipio a la red nacional 2) Conectan una zona o un municipio con más de 5 mil habitantes a la red nacional	
D	Importancia en la red vial a nivel municipal de Nicaragua				1) Caminos de alta importancia para la municipalidad	1) Incluido en actual Inventario Vial del MTI y que no cumplen con algunos de los criterios anteriores

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

ANEXO E.III: Valores Típicos de Geometría de Aletones para Alcantarillas Dobles D=1.37 m.

Ø137	DI=1.37	DE=1.65	E=0.14	LU=2.00	H=1.81	bm=1.43	y=0.8	Rb=0.45	Re>0.84		MAMPOSTERIA DE PIEDRA PARA 2 CABECERAS (m3)		
β°	**bc**	**bc***	**bl**	**bl***	**hc**	**hl**	**ac**	**cc**	**al**	**cl**	**SIMPLE**	**DOBLE**	**TRIPLE**
0	2.00	0.28	2.00	0.28	1.11	1.11	1.61	1.61	1.61	1.61	18.5	28.0	37.5
5	1.93	0.26	2.08	0.31	1.07	1.14	1.67	1.40	1.53	1.83	18.6	28.1	37.6
10	1.88	0.23	2.28	0.33	1.04	1.19	1.73	1.21	1.44	2.06	18.8	28.4	38.1
15	1.84	0.21	2.31	0.36	10.10	1.23	1.77	1.02	1.34	2.31	19.2	29.0	38.8
20	1.82	0.18	2.47	0.39	0.99	1.29	1.81	0.84	1.21	2.59	19.8	29.8	39.8
25	1.81	0.15	2.66	0.41	0.96	1.36	1.84	0.67	1.05	2.89	20.6	30.9	41.1
30	1.81	0.12	2.89	0.45	0.94	1.44	1.86	0.50	0.86	3.22	21.7	32.3	42.9
35	1.82	0.08	3.18	0.48	0.92	1.54	1.88	0.33	0.64	3.60	23.1	34.1	45.2
40	1.85	0.05	3.54	0.52	0.89	1.66	1.89	0.16	0.35	4.04	24.8	36.5	48.1
45	1.89	0.00	3.99	0.57	0.87	1.81	1.89	0.00	0.00	4.56	27.2	39.5	51.8

Fuente: Cálculo de Alcantarillas, E. Lorenzo.

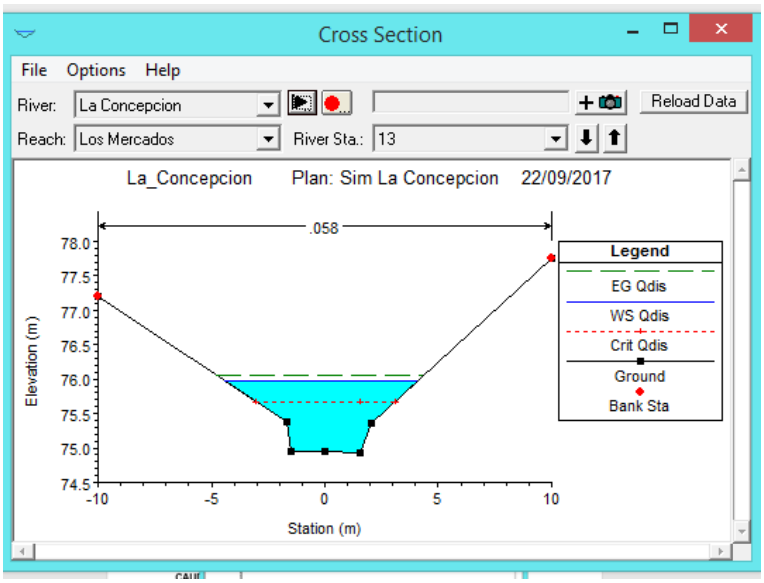
ANEXO E.IV: Valores Típicos de Geometría de Aletones para Alcantarillas Dobles D=1.52 m.

Ø152	DI=1.52	DE=1.83	E=0.15	LU=2.00	H=1.98	bm=1.51	y=0.8	Rb=0.45	Re>0.84		MAMPOSTERIA DE PIEDRA PARA 2 CABECERAS (m3)		
β°	**bc**	**bc***	**bl**	**bl***	**hc**	**hl**	**ac**	**cc**	**al**	**cl**	**SIMPLE**	**DOBLE**	**TRIPLE**
0	2.23	0.28	2.23	0.28	1.19	1.19	1.78	1.78	1.78	1.78	23.1	36.0	48.9
5	2.25	0.26	2.32	0.31	1.15	1.23	1.85	1.55	1.69	2.02	23.2	36.2	49.1
10	2.09	0.23	2.44	0.33	1.12	1.28	1.91	1.33	1.59	2.27	23.5	36.3	49.6
15	2.05	0.21	2.58	0.36	1.09	1.33	1.96	1.13	1.47	2.55	24.0	37.3	50.6
20	2.02	0.18	2.76	0.39	1.06	1.39	2.00	0.93	1.33	2.85	24.7	38.3	51.9
25	2.01	0.15	2.97	0.41	1.03	1.47	2.03	0.74	1.16	3.18	25.7	39.7	53.7
30	2.00	0.12	3.23	0.45	1.01	1.56	2.05	0.55	0.95	3.55	27.0	41.5	56.0
35	2.01	0.08	3.55	0.48	0.98	1.67	2.07	0.36	0.70	3.97	28.8	43.9	59.0
40	2.04	0.05	3.95	0.52	0.96	1.80	2.08	0.18	0.39	4.46	31.0	46.9	62.8
45	2.08	0.00	4.46	0.57	0.94	1.98	2.08	0.00	0.00	5.02	33.8	50.7	67.6

Fuente: Cálculo de Alcantarillas, E. Lorenzo

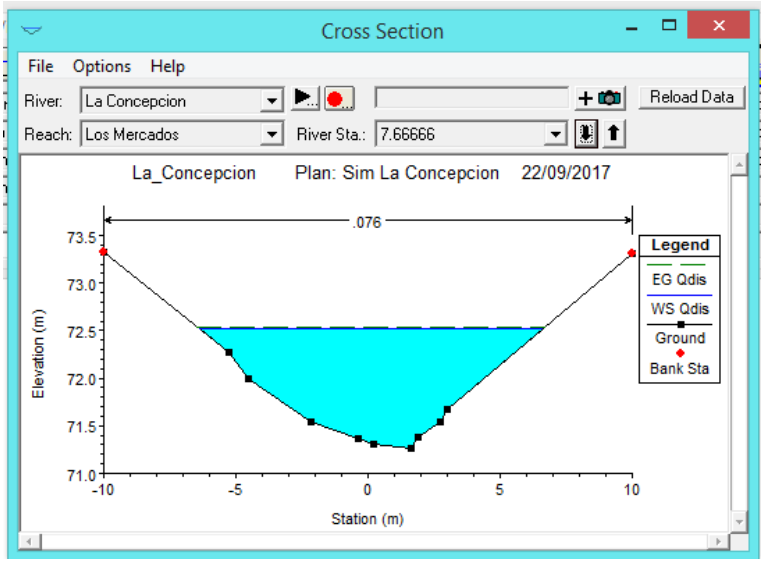
ANEXO F: Simulación Hidráulica del Cauce generada por el Caudal de Diseño.

Anexo F.I: Sección Aguas Arriba del Cauce.



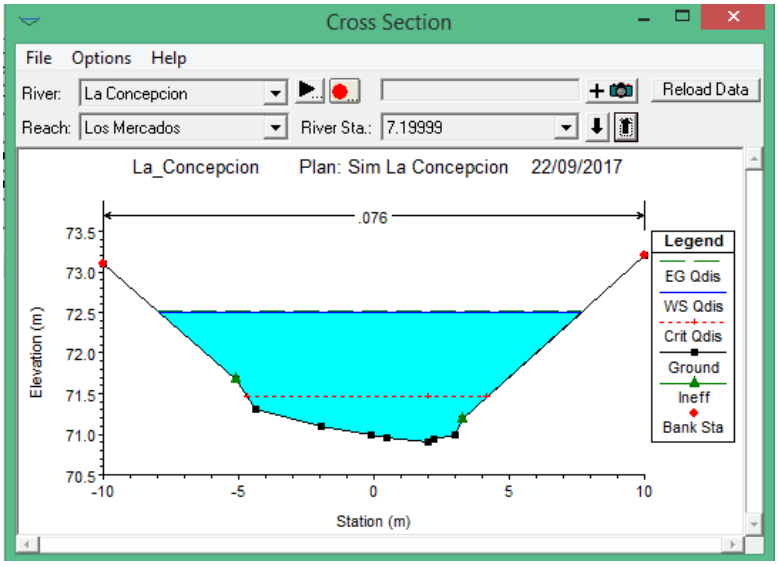
Fuente: HEC-RAS.

Anexo F.II: Sección 0+000 Aguas Arriba del Cauce.



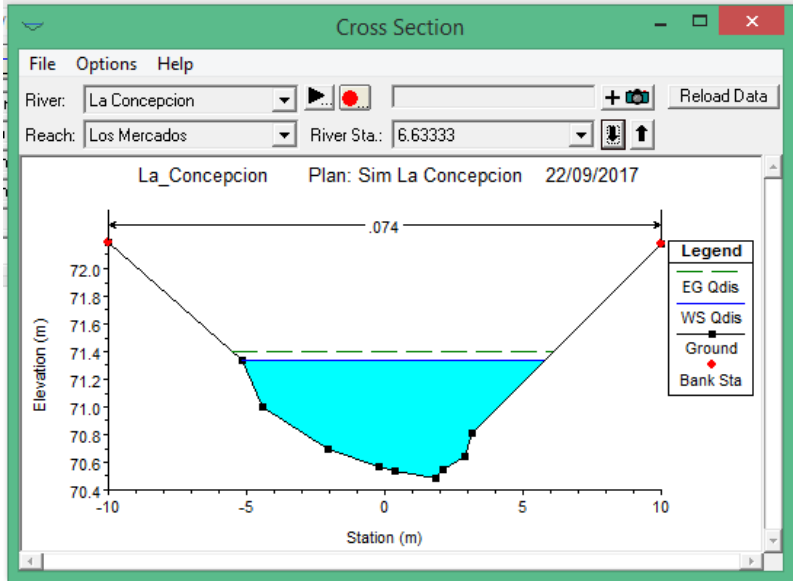
Fuente: HEC-RAS.

Anexo F.III: Sección Aguas Arriba del Cauce.



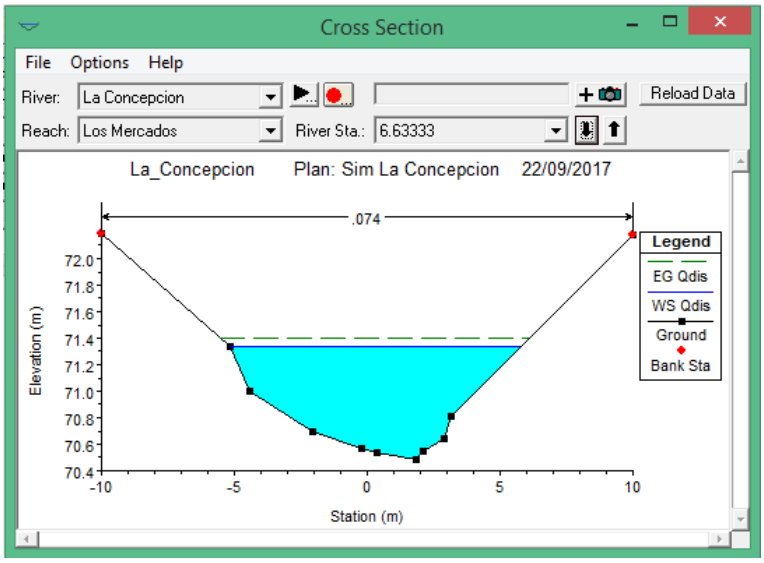
Fuente: HEC-RAS.

Anexo F.IV: Sección Aguas Abajo del Cauce.



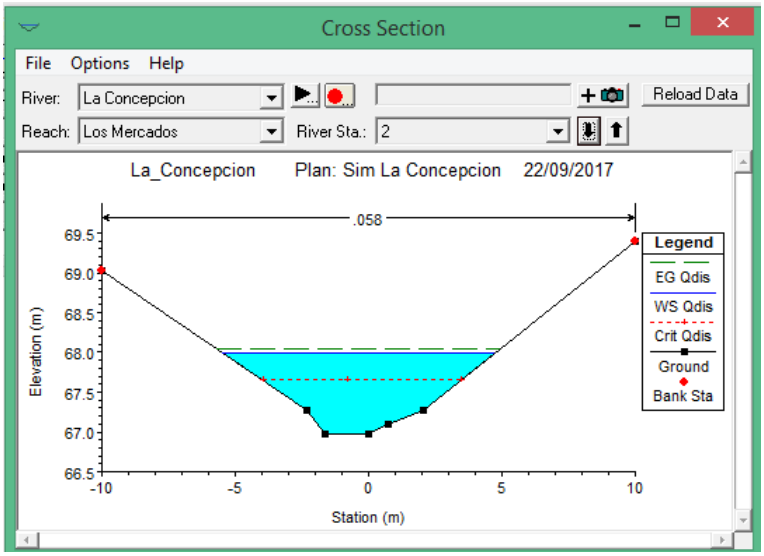
Fuente: HEC-RAS.

Anexo F.V: Sección Aguas Abajo del Cauce.



Fuente: HEC-RAS.

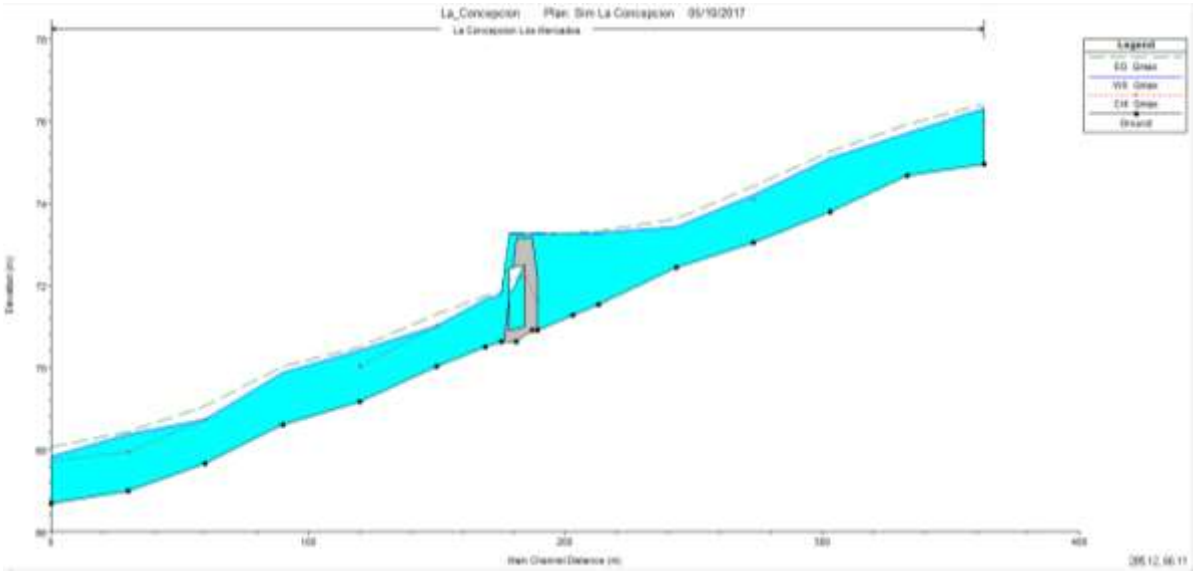
Anexo F.VI: Sección Aguas Abajo del Cauce.



Fuente: HEC-RAS.

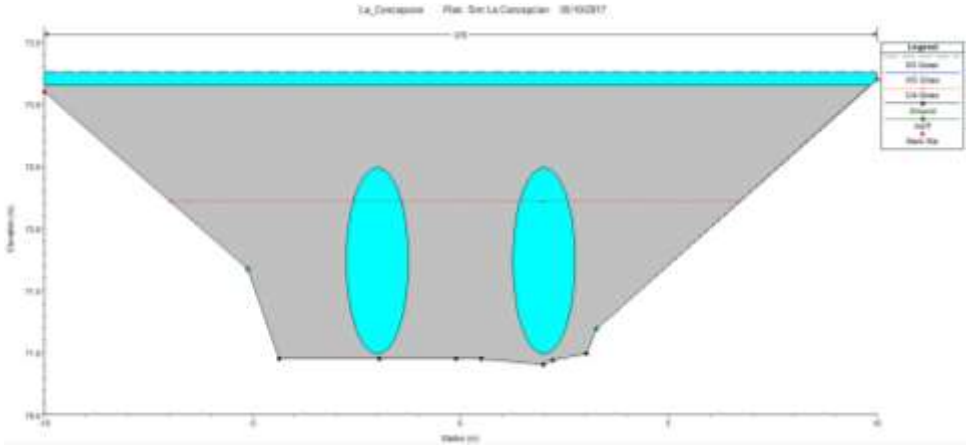
ANEXO G: Simulación Hidráulica para un Período de Retorno de 100 años.

Anexo G.I: Perfil de Flujo generado por el Caudal Máximo Extraordinario.



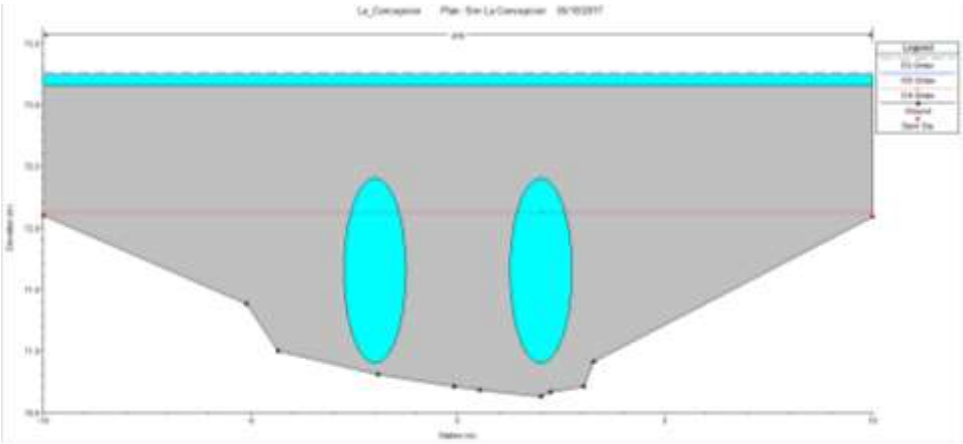
Fuente: HEC-RAS.

Anexo G.II: Sección de Alcantarilla Aguas Arriba simulada con el Caudal Máximo Extraordinario.



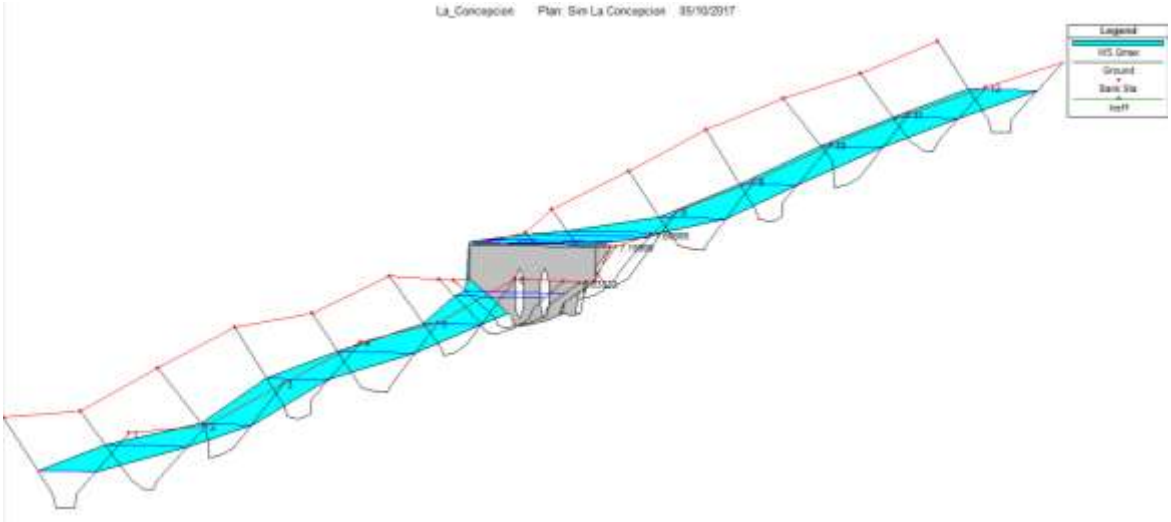
Fuente: HEC-RAS.

Anexo G.III: Sección de Alcantarilla Aguas Abajo simulada con el Caudal Máximo Extraordinario.



Fuente: HEC-RAS.

Anexo G.IV: Perspectiva de Flujo generada por el Caudal Máximo Extraordinario.



Fuente: HEC-RAS.

ANEXO H: Fotografías.

Anexo H.I. Vista desde aguas abajo del punto de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo H.II: Cruce desde San Juan de la Concepción hacia los Mercados .



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo H.III: Vista desde aguas arriba del punto de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo H.IV: Acceso al punto de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.