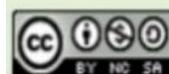


**DISEÑO Y CALCULO ESTRUCTURAL E HIDROLÓGICO DE UN BOX  
CULVERT PARA INTERVENIR UN TRAMO DE LA QUEBRADA LA TUSA EN  
EL BARRIO ECOPARAISO EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ.**

**DIEGO FERNANDO AQUITE SALAZAR  
CRISTIAN PACHÓN MORENO  
GERMAN ALEJANDRO PINILLOS CASTIBLANCO**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA  
CAMPUS IBAGUÉ ESPINAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
IBAGUÉ  
2021**



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

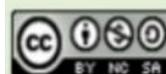
**DISEÑO Y CALCULO ESTRUCTURAL E HIDROLÓGICO DE UN BOX  
CULVERT PARA INTERVENIR UN TRAMO DE LA QUEBRADA LA TUSA EN  
EL BARRIO ECOPARAISO EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ.**

**DIEGO FERNANDO AQUITE SALAZAR  
CRISTIAN PACHÓN MORENO  
GERMAN ALEJANDRO PINILLOS CASTIBLANCO**

**Trabajo presentado para optar al título de ingenieros civiles**

**Director Especifico  
Msc. Ing. Hugo Andrés Morales Calderón  
Director Metodológico  
Msc. Ing. Alberto Gómez Lozano**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA  
CAMPUS IBAGUÉ ESPINAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
IBAGUÉ  
2021**



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

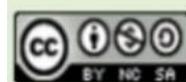
---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

Ciudad y fecha (día, mes, año)



## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de grado primero a Dios, por darme entereza y sabiduría para alcanzar mi sueño. A mi madre Olga Lucia Aquite Salazar por ser el eje que me motivo, la persona que siempre estuvo conmigo brindándome su apoyo incondicional, en cada una de las etapas del proceso hasta alcanzar tan anhelada meta.

### **DIEGO FERNANDO AQUITE SALAZAR.**

Dedico este proyecto a familia, a mi madre Yolanda Moreno, hermano Edgar Moreno y mi padrastro Felipe Caicedo por todo el apoyo incondicional que me han brindado a pesar de los tropiezos que he tenido, por la paciencia que me han tenido durante el transcurso de mi carrera como ingeniero civil y que estoy a un paso de culminar. Gracias a ustedes me he esforzado, corregido errores y salido adelante a pesar de los obstáculos, gracias a ustedes me he formado como una excelente persona persistente en cumplir mis logros.

Por último y no menos importante solo espero que con la ayuda y bendición de Nuestro señor Dios me otorgue la licencia como ingeniero civil, para así poder devolver un poco de cada semilla de amor, interés y paciencia para mi familia y los allegados que también me apoyaron incondicionalmente.

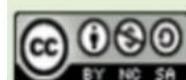
### **CRISTIAN PACHÓN MORENO**

Dedico este proyecto a ustedes, Diana Castiblanco y German Pinillos, ante todo por la paciencia en este largo camino, gracias por la paciencia y la perseverancia que tuvieron desde el inicio hasta hoy que culmino este logro, son ellos que siempre estuvieron a pesar de tantos errores y nunca abandonaron esta idea de vida para que hoy por hoy me encuentre aquí.

También de una manera muy especial y significativa , dedico este trabajo a mis compañeros de universidad los cuales ya muchos de ellos no se graduaron hoy conmigo , porque gracias a ellos muchas veces tuve la fuerza y la voluntad de lograr mejorar día a día en este camino que no fue nada fácil, un reconocimiento a todas las personas las cuales compartieron en esta etapa de mi vida algún momento, momentos los cuales fueron increíbles y significativos para mí, me siento orgulloso por mí y por todos los que en este día lo vamos a lograr y también por estos amigos y compañeros que ya lo lograron.

Dios espero me de salud, vida y prosperidad para retribuir todo lo que hicieron por mí y lo que deseo hacer por los demás, los amo familia.

### **GERMAN ALEJANDRO PINILLOS CASTIBLANCO**



## **AGRADECIMIENTOS**

Doy mis agradecimientos a Dios, a mi madre Olga Lucia Aquite Salazar, a la docente Nancy Esperanza Quintero Ortigoza, a mis hermanas, a mis compañeros, al igual que a cada uno de los formadores de mi carrera, a los docentes, directivos y jurados, inmensa gratitud.

### **DIEGO FERNANDO AQUITE SALAZAR.**

Agradezco principalmente a Dios por haberme dado una oportunidad de vida y salud para seguir adelante y así poder cumplir metas y sueños.

En segunda instancia a mi familia, especialmente a mi madre Yolanda Moreno Gómez por siempre ser mi apoyo incondicional tanto emocional como económico, estar siempre en los buenos y malos momentos de mi vida, a mi padrastro Luis Felipe Caicedo por su gran apoyo como padre aconsejándome en mis buenos caminos y formando en mí valores como persona y como profesional, a mi hermano Edgar Duarte Moreno por su apoyo en mi carrera como profesional. Gracias a ustedes es que iniciare mi vida como profesional para formarme como un excelente Ingeniero Civil como el que ustedes soñaron hace un tiempo atrás.

Tercero a aquellas personas indispensables en mi vida, que siempre me apoyaron, estuvieron conmigo en los mejores y peores momentos de mi vida, y que aún siguen siendo mi gran compañía en el transcurso tanto de mi carrera profesional como en la vida personal.

### **CRITIAN PACHÓN MORENO**

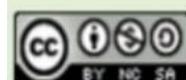
Principalmente quiero agradecer a Dios, porque es gracias a él que sigo despertando y cumpliendo mis sueños y metas día a día.

A mis padres, que nunca descansaron y con esfuerzo lograron otorgarme la posibilidad de cumplir este sueño, que hoy se hace realidad, especialmente a mi madre Diana Castiblanco que luchó incansablemente todos los días, porque no descansaste hasta no verme en el lugar que estoy hoy y que sé que su amor es inigualable, madre la mayor parte de este logro te lo debo a ti mi viejita quinceañera.

A mi pareja sentimental, que estuvo apoyándome en el último y más importante tramo de mi carrera, gracias por estar para mí, eres parte de mi inspiración y motivación.

A los docentes que me formaron como profesional, persona y que me dieron las herramientas y valores profesionales que han hecho para mejor en mi vida, la orientación que me dieron en mi vida académica es inimaginable, todo esto junto hace que hoy logre con mucho orgullo mi título como ingeniero civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, como soda stereo, gracias totales.

**GERMAN ALEJANDRO PINILLOS CASTIBLANCO**

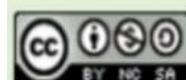


## CONTENIDO

	PÁG.
GLOSARIO	16
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	20
2. JUSTIFICACIÓN.	22
3. OBJETIVOS.	23
3.1. OBJETIVO GENERAL.	23
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	23
4. MARCO TEÓRICO.	24
4.1. BOX CULVERT	24
4.1.1. Características del Box Culvert:	24
4.1.2. Proceso Constructivo:	25
4.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.	25
4.2.1. Hoya hidrográfica y características físicas.	25
4.2.1.1. Tiempo de Concentración.	26
4.2.2. Periodo de Retorno de obras.	26
4.2.3. Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF).	27
4.2.4. Caudales Máximos (Modelo Lluvia –Escorrentía).	28
4.2. ESTUDIOS HIDRÁULICOS	28
4.2.1. Cálculo del número de curva de escorrentía – CN	28
5. LOCALIZACIÓN O GEORREFERENCIACIÓN	30
6. METODOLOGÍA.	31
6.1. PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA	32
6.1.1. Modelo de Elevación Digital.	32
6.1.2. Cartografía Básica	33
6.1.3. Modelación en ArcGis.	33
6.1.4. Característica de la Cuenca hidrológica.	34
6.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.	36
6.2.1. precipitación Máxima Mensual.	36

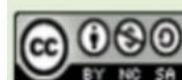
6.2.1.1 Cálculo de curvas IDF por el método simplificado.	38
6.2.2. Tiempo de Concentración.	40
6.2.3. Periodo de Retorno.	42
6.2.4. Numero de curvas de escorrentía.	42
6.4.3. Caudal Máximo.	44
6.3. ESTUDIO HIDRÁULICO.	46
6.3.1. Perfiles Longitudinales.	46
6.3.2. Cota Máxima de la Lámina de Agua.	47
6.4. DISEÑO ESTRUCTURAL	50
6.4.1. Materiales.	50
6.4.2. Espesores mínimos.	51
6.4.3. Refuerzo.	51
6.4.4. Recubrimientos.	51
6.4.4. Carga de Diseño.	52
6.4.4.1 Carga Muerta.	52
6.4.4.2 Carga Viva	53
6.4.4.3. Peso del Relleno.	53
6.4.4.4. Control de agrietamiento	54
7. RESULTADOS.	55
7.1. PARÁMETROS MORFOMETRICOS.	55
7.1.1. Características de la cuenca.	59
7.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.	61
7.2.1. Valores máximos de precipitación.	61
7.2.1.1. Cálculo de curvas IDF por Método Simplificado.	64
7.2.3. Tiempo de concentración.	66
7.2.4. Hietogramas.	67
7.2.5. Numero de Curvas (CN).	70
7.2.6. Caudal Máximo	73
7.3. ANÁLISIS HIDRÁULICO.	75
7.3.1. Perfiles longitudinales.	75
7.3.2. Cota máxima de la lámina de agua.	76
7.3.2.1. Galibo.	80
7.3.2.2. Dimensiones del Box Culvert.	80

7.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.	83
7.4.1. cargas vivas, muertas e Impacto	83
7.4.3. Cortantes y momentos Máximos.	90
7.4.4. Método de Resistencia Ultima.	94
8. CONCLUSIONES	103
9. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS.	107



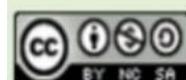
## LISTA DE TABLAS

	PAG.
Tabla 1. Tiempo de Concentración.	26
Tabla 2. Periodo de Retorno.	27
Tabla 3. Condición Hidrológica de acuerdo con el tipo de cobertura.	29
Tabla 4. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia	39
Tabla 5. Periodo de Retorno de Diseño en obras de drenaje vial.	42
Tabla 6. Condición Hidrológica de acuerdo con el tipo de cobertura.	43
Tabla 7. Recubrimiento para las armaduras principales no protegidas.	52
Tabla 8. Característica de la cuenca limitada.	60
Tabla 9. Pendiente media.	60
Tabla 10. Características de la cuenca.	60
Tabla 11. Precipitación máxima.	62
Tabla 12. Curvas IDF Estación Aeropuerto Perales	65
Tabla 13. Tiempo de concentración en la quebrada la Tusa.	66
Tabla 14. Hietograma para un periodo de retorno de 25 años.	67
Tabla 15. Tipo de suelo en la hoya hidrográfica.	71
Tabla 16. Numero de curvas (CN)	73
Tabla 17. Altura máxima de la lámina de agua en HEC-RAS.	79
Tabla 18. Resumen de resultados sección 180.	80
Tabla 19. Ancho de contacto y el pavimento.	87
Tabla 20. Cargas en SAP 2000	91
Tabla 21. Diagramas de Momentos, Cortante y Axial.	92
Tabla 22. Recubrimiento para las armaduras principales (mm)	95
Tabla 23. Módulo de Rotura.	97
Tabla 24. Refuerzo Mínimo	98



## LISTA DE GRÁFICOS

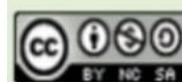
	<b>PAG.</b>
Grafica 1. Metodología del Proyecto.	31
Grafica 2. Precipitación máxima anuales.	64
Grafica 3. Curvas IDF.	66
Grafica 4. Curva IDF T25	69
Grafica 5. Hietrograma Precipitación T25	69
Grafica 6. Resultados de la Modelación en HEC-HMS	75



## LISTA DE ILUSTRACIONES

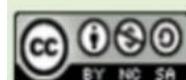
	PAG.
Ilustración 1. Desbordamiento de la quebrada la Tusa.	21
Ilustración 2. Descole de la alcantarilla existente.	21
Ilustración 3. Box Culvert	24
Ilustración 4. Curvas IDF.	27
Ilustración 5. Localización del proyecto.	30
Ilustración 6. Georreferenciación del proyecto.	30
Ilustración 7. Modelo de elevación digital.	32
Ilustración 8. Cartografía de la Ciudad de Ibagué	33
Ilustración 9. Ubicación de la estación pluviométrica	37
Ilustración 10. Estación Pluviométrica Aeropuerto Perales	38
Ilustración 11. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d	40
Ilustración 12. Modelación en HEC-HMS	45
Ilustración 13. Mapa de Pendiente	46
Ilustración 14. Modelación en Geo-Ras	47
Ilustración 15. Vista en planta cortes	48
Ilustración 16. Perfil longitudinal.	48
Ilustración 17. Numero de Manning.	49
Ilustración 18. Asignación del número de manning.	50
Ilustración 19. DEM_Dirrección	55
Ilustración 20. Líneas de flujo y polígono	56
Ilustración 21. Mapa de altimetría.	57
Ilustración 22. Longitud Axial.	57
Ilustración 23. Longitud del cauce principal	58
Ilustración 24. Clasificación de las corrientes	59
Ilustración 25. Mapa de suelos en el Tolima	70
Ilustración 26. Mapa de cobertura superficie.	72
Ilustración 27. Condensación del mapa de cobertura.	73
Ilustración 28. Caudal Máximo.	74
Ilustración 29. Pendiente del cauce	76
Ilustración 30. Simulación en HEC-RAS Perfiles Longitudinales.	77
Ilustración 31. Vista tridimensional del segmento de la cuenca.	78
Ilustración 32. Datos de entrada para la modelación en HY8	81
Ilustración 33. Corte con vista del ancho de la vía y altura.	82
Ilustración 34. Vista de frente Box culvert (Ancho y altura).	82
Ilustración 35. Geometría del Box Culvert.	83
Ilustración 36. Peso Específico del tipo de suelo.	84
Ilustración 37. Presión Vertical	85
Ilustración 38. Presión horizontal del terreno.	86
Ilustración 39. Camión de diseño C3	87

Ilustración 40. Ancho de contacto entre el neumático y la superficie de dirección transversal y longitudinal.	88
Ilustración 41. Cargas vivas e Impacto.	88
Ilustración 42. Presión horizontal y vertical del agua.	89
Ilustración 43. Vista 3D Box Culvert.	90



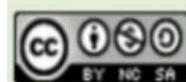
## LISTA DE ECUACIONES

	<b>PAG.</b>
Ecuación 1. Ancho Promedio	34
Ecuación 2. Índice de Gravelius	35
Ecuación 3. Coeficiente de Forma.	35
Ecuación 4. Intensidad de precipitación	39
Ecuación 5. Ecuación Kirpich	41
Ecuación 6. Ecuación de Temez	41
Ecuación 7. Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	41
Ecuación 8. Tiempo de retraso	41
Ecuación 9. Combinaciones de carga para el momento último.	54
Ecuación 10. Factor Fe	83
Ecuación 11. Presión vertical.	84
Ecuación 12. Teoría de Rankine	85
Ecuación 13. Presión Horizontal.	85
Ecuación 14. Carga por eje	87
Ecuación 15. Franja de carga vehicular	88
Ecuación 16, Presión del agua.	89
Ecuación 17. Área Aferente	96
Ecuación 18. Numero de varillas	96
Ecuación 19. Módulo de Rotura.	97



## LISTA DE ANEXOS

	<b>PAG.</b>
Anexo A. Carta de Petición	107
Anexo B. comunicado para la defensorio del pueblo.	108
Anexo C. Carta de Petición a la sexta Brigada.	109
Anexo D. Plano del Box Culvert.	110



## GLOSARIO

**AFLUENTE:** Agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio o a algún proceso de tratamiento. (Saenz, 1999)

**AFORO DE AGUA:** Es el procedimiento por medio del cual se mide o estima la cantidad de agua que normalmente utiliza un usuario. (EPM, 2013)

**ALCANTARILLADO:** Acueducto subterráneo, o sumidero, fabricado para recoger las aguas llovedizas o residuales y darles paso. Una alcantarilla es una obra de fábrica destinada a evacuar las aguas residuales domesticas u otro tipo de aguas usadas. (EPM, 2013)

**BOX CULVERT:** o alcantarilla en cajón. (Saenz, 1999)

**CANAL:** Una construcción que puede ser natural o artificial destinada al transporte de todo tipo de fluidos. (Empresa de Servicios Públicos de Chía, 2014)

**CARGA MUERTA:** carga permanente, carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes. (Clavijo Gomez & Ramirez Fonseca, 2018)

**CARGA VIVA:** carga variable, Carga externa, movable sobre una estructura que incluye el peso de la misma junto con el mobiliario, equipamiento, personas, etc., que actúa verticalmente. (Clavijo Gomez & Ramirez Fonseca, 2018)

**CONCRETO REFORZADO:** o armado, en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas situadas. Este concreto es apto para resistir esfuerzos de tracción y compresión. (I.N.V.E-414-07, 2013)

**CAPACIDAD HIDRÁULICA:** Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación. (Muñoz Mera, 2020)

**CAPTACIÓN:** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento. (Acueducto agua y Alcantarillado de Bogota , 2020)

**CAUDAL:** Es el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo. Referido a un medidor, es el Cociente obtenido (no está en la resolución) entre el volumen de agua que circula a través de un medidor de agua y el tiempo que le toma hacerlo. (EPM, 2013)

**CAUDAL DE DISEÑO:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado. (Cadavid, 2020)

**DEFLEXIÓN:** Desviación de la dirección de una corriente. (Saenz, 1999)

**DRENAJE:** Estructura destinada a la evacuación de aguas subterráneas o superficiales para evitar daños a las estructuras, los terrenos o las excavaciones. (Empresa de Servicios Públicos de Chía, 2014)

**EROSIÓN:** Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento. (Empresa de Servicios Públicos de Chía, 2014)

**ESCURRIMIENTO:** relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente. (Gasulla, 2012)

**HIDRÁULICA:** Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.4 (Instituto Nacional de Vías, 2008)

**HIDROLOGÍA:** Parte de las ciencias naturales que trata de las aguas. (EPM, 2013)

**IMPACTO AMBIENTAL:** Afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra. (AcuaValle, 2019)

**INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN:** Cantidad de agua lluvia caída sobre una superficie durante un tiempo determinado. (Clavijo Gomez & Ramirez Fonseca, 2018)

**NIVEL FREÁTICO:** Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno. (AcuaValle, 2019)

**PERÍODO DE DISEÑO:** Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

**PRECIPITACIÓN:** Cantidad de agua lluvia caída en una superficie durante un tiempo determinado. (EPM, 2013)

**SOCAVACIÓN:** Excavar por debajo algo, dejándolo en falso. (EPM, 2013)

**VERTIMIENTOS:** acción y efecto de verter: Dicho de una corriente de agua: Desembocar en otra.

**VIDA ÚTIL:** Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento. (EPM, 2013)

## RESUMEN

A través del tiempo los Box Culvert han ido evolucionando desde ser una simple estructura utilizada como alcantarilla, hasta llegar a ser una estructura que puede ser utilizada como paso de agua, como túnel, para contener taludes e inclusive para utilizarse como puente.

En este trabajo se proporciona una posible solución a una problemática existente en un sector de la ciudad de Ibagué más exactamente en un punto de la quebrada llamada “La Tuza” en la comuna 6 del barrio Ecoparaiso, que presenta ciertos problemas para la comunidad debido a que, en época invernal por las fuertes precipitaciones, se genera desbordamiento del cauce lo cual restringe el paso vehicular y peatonal a los habitantes del sector. Adicional, la estructura hidráulica actual, registra problemas de estabilidad y su capacidad de recepción es limitada, lo cual pone en riesgo y vulnerabilidad a la comunidad.

Para ello, se inicia el proyecto con un análisis de los parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica de estudio, en donde se analiza el área, perímetro, pendiente, longitud axial, geometría de la cuenca, entre otros factores, que permiten caracterizar la quebrada la tusa en funciones de la recepción de caudal por parte de subcuencas aguas arribas del punto de intersección con la vía de acceso.

Igualmente, se realizó el estudio hidrológico, iniciando con el análisis de la precipitación máxima registrada en la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio, para encontrar la precipitación media máxima que permita según la metodología simplificada determinar las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF), para un periodo de retorno de 25 años, con la finalidad de realizar la modelación por el método del hidrograma de esorrentía superficial en el software HEC-HMS para determinar el caudal máximo de lluvias para el punto de localización del box culvert a implementar.

Luego, se realizó el estudio hidráulico, para determinar la cota máxima de la lámina de agua en el punto de estudio, para eso fue necesario determinar la batimetría del río, para obtener los perfiles longitudinales y modelar en el software HEC-RAS, en donde se tomaron datos aguas arribas y abajo de la alcantarilla para analizar las propiedades hidráulicas del río la altura máxima, velocidad, numero de Froude, etc.

Por último, se llevó a cabo según los resultados obtenidos en los respectivos estudios morfométricos, hidrológico e hidráulico, el diseño estructural por el método de resistencia ultima, en donde se determinaron los momentos y cortantes máximo según las cargas identificas y su factor de combinaciones, para luego realizar el respectivo despiece de acero de la estructura hidráulica tipo box culvert.

## INTRODUCCIÓN

El drenaje de pavimentos es esencial para mantener un buen nivel de servicio y seguridad en el tráfico. Este requiere de la consideración de los factores topográficos, hidrológicos y geotécnicos. Existe la posibilidad de que se desarrollen películas de agua con un tirante grande sobre la superficie del pavimento en instantes de lluvia las cuales pueden generar hidroplaneo, encharcamientos y salpicaduras excesivas. (Martinez Castaño, Giraldo Castaño, & Gonzales Nevio, 2015)

Existen diferentes tipos de alcantarilla y estas dependen de la altura de relleno y el punto de vista económico, una de estas es las alcantarillas tipo cajón, en ingles box culvert son estructuras elaboradas en concreto reforzado los cuales pueden ser prefabricado o construidos in-situ; estas estructuras son utilizadas como alcantarillas, estructuras para paso de agua, túnel para contención de taludes he inclusive pueden utilizarse como puentes. Son estructuras auto portantes enterradas, de sección rectangular hueca. (Muñoz Mera, 2020)

Para darle solución a la situación que se presenta en la zona de la quebrada la Tusa se realizó la estimación hidrológica por medios de estaciones pluviométricas activas, datos que me permiten estimar valores de precipitación máxima mensual, luego se calculó la intensidad, duración y frecuencia con distintos periodos de retorno, para luego, reconocer los caudales de escorrentía que circularán por esta y así dimensionar y establecer la estructura adecuada que garantice el servicio incondicional de una vía eficiente.

Igualmente, es importante reconocer los parámetros morfométricos de la quebrada la Tusa, la cual se intersecta con la única vía de acceso para el barrio Ecoparaiso de la Comuna 6 en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, con los estudios de hidrológicos e hidráulicos de la quebrada en estudio, se plantea un diseño estructural en base a los parámetros técnicos de diseños de alcantarillas de cajón los cuales se rigen por la Colombiana de Diseño de Puentes (CCP14) (Sismica-AIS, 2014) la cual está basada en la norma de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO, American Association of State Higway and Transportation Officials, 2012)

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Colombia es uno de los países con mayor cantidad de fuentes hídricas del mundo, donde se destacan las vertientes, ríos, ciénagas, represas, lagos, lagunas y embalses. Se estima que en Colombia hay al menos de 743 mil cuencas hidrográficas, las cuales algunas de ellas presentan problema para el paso vehicular y peatonal, ya que en temporadas de lluvias algunas cuencas hidrográficas presentan un caudal de agua no despreciable. (Clavijo Gomez & Ramirez Fonseca, 2018)

En la comuna 6 en el barrio Ecoparaiso de la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, aproximadamente residen alrededor de 600 familias las cuales carecen de un nivel socioeconómico bajo, personas de escolaridad media y básica (Garzon Tovar, 2018), en donde se evidencia varios factores de riesgo por las condiciones de que la única vía de acceso y comunicación que posee este sector se encuentra en condiciones de alto deterioro debido a que la infraestructura existente No cumple con las condiciones hidrológicas de la zona, adicional por los efectos de socavación y erosión del talud la alcantarilla existe se encuentra suspendida a punto de colapsar. Dichas condiciones sumadas a los factores naturales desfavorables recurrentes hacen que en ocasiones la vía quede con un paso restringido dejando incomunicada físicamente a la población.

Es importante resaltar, que los habitantes del barrio Ecoparaiso con el fin de conseguir una solución para darle paso a vehículos y permitir el acceso peatonal, mediante sus propios métodos realizaron la estructura física actual, la cual se componen de una alcantarilla circular de doble apertura con un diámetro efectivo de un metro (1m), utilizaron concreto ciclópeo en el descole de la tubería para rellenar la pérdida del talud, no cuenta con aletas, y su diseño no es apto estructuralmente, soluciones que claramente no han sido buenas prácticas y que no subsana el problema latente que los afecta además el riesgo de desplome de esa estructura es muy alto, lo que pone en riesgos a los habitantes y transeúntes. (ver ilustración 2)

Por consiguiente, debido a las altas precipitaciones registradas en la zona, genera un aumento en el nivel de la quebrada la Tusa, que a su vez varia las condiciones hidráulicas de la quebrada, aumentado su velocidad, arrastrando sedimentos y provocando resaltos que ocasiona erosiones en los taludes y socavación en la alcantarilla existente, lo cual provoca un desbordamiento por encima de la alcantarilla circular, debido a factores de colmatación y exceso de caudal. (ver ilustración 1)

Ilustración 1. Desbordamiento de la quebrada la Tusa.



Fuente: autores.

Ilustración 2. Descole de la alcantarilla existente.



Fuente: Autores

## 2. JUSTIFICACIÓN.

Ocasionalmente la expansión vial o de las ciudades puede verse afectada por problemas geográficos, por lo cual se deben generar soluciones como alcantarillas o puentes. En algunos casos los flujos de agua son demasiado pequeños para la elaboración de un puente, pero, aun así, puede haber caudales poco despreciables, que en temporada de invierno es necesario darle paso al flujo de agua. (Martinez Castaño, Giraldo Castaño, & Gonzales Nevio, 2015)

El box culvert generalmente se construyen con el fin de minimizar los procesos de erosión natural, de reducir la sinuosidad de las quebradas y buscando la protección de algunas estructuras o construcciones existentes. Adicional con la construcción del box culvert en esta quebrada se busca corregir toda la problemática planteada y además se puede dar soluciones de movilidad vial, ya que es la única vía de acceso y comunicación que tienen los habitantes del barrio Ecoparaiso. (Garzon Tovar, 2018)

Según lo establece la normativa colombiana la infraestructura de transporte debe estar bajo la vigilancia y control del estado, y se organiza de manera estable para permitir el traslado de las personas, los bienes y los servicios, el acceso y la integración de las diferentes zonas del país y que propende por el crecimiento, competitividad y mejora de la calidad de la vida de los ciudadanos.

Con este proyecto se busca contribuir como recopilación y fuente de información para la construcción de una alcantarilla tipo cajón o box culvert con estudios hidrológicos, hidráulicos, topográficos, geotécnicos y estructurales. Esto debido a que la estructural hidráulica dispuesta en la zona, se construyó de manera artesanal con recursos escasos y como una solución rápida, sin cumplir con la normativa técnica colombiana para diseño de puentes (CCP14), adicional en época invernal se presenta un aumento del nivel de la quebrada lo que ocasiona desbordamiento del cauce, y pone en riesgo a las más de 600 familias del barrio Ecoparaiso al dejarlo completamente incomunicado, mucho de ellos ponen en riesgo su vida al tratar de transitar por esa estructura.

### 3. OBJETIVOS.

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar el diseño de la obra hidráulica (box culvert) para intervenir un tramo de la quebrada la Tusa en el barrio Ecoparaiso en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar los datos hidrológicos de precipitación mensual, según información suministrada por IDEAM.
- Determinar los parámetros morfológicos de la quebrada la Tusa, con la modelación en el Software ArcGis.
- Estimar el caudal máximo a partir de la metodología aceptada para este fin (método del hidrograma de escorrentía superficial)
- Determinar la cota máxima de la lámina de agua, a su vez las condiciones hidráulicas con la modelación en HEC-RAS.
- Diseño estructural de la alcantarillada tipo cajón en base a la CCP-14.

## 4. MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se definen conceptos fundamentales que sirvieron de ayuda para el correcto desarrollo del presente trabajo.

### 4.1. BOX CULVERT

El box culvert, o coulvert, simplemente alcantarillas tipo cajón son elementos diseñados para proyectos rigurosos donde se requiere rapidez y facilidad de instalación. Como su nombre lo indica, ésta es una estructura en forma de caja o cajón generalmente construida en concreto reforzado. La caja puede cumplir la función de tubería-túnel en su interior y/o puente en su superficie. Las altas demandas de sus aplicaciones han hecho que el box culvert sean estructuras con muy buenas características de resistencia, deformabilidad y duración. (Barrios Osorio, 2021)

Ilustración 3. Box Culvert



Fuente: (Roshan Pastel, 2019)

**4.1.1. Características del Box Culvert:** Según (Clavijo Gomez & Ramirez Fonseca, 2018) el Box Culvert, son estructuras auto portantes enterradas, de sección rectangular hueca, y que pueden estar compuestas por piezas monolíticas, algunos de esas características son.

- Rendimiento y resistencia que garantizan una larga vida útil.
- Se puede instalar bajo recubrimientos limitados, aprovechando el ancho y limitando su altura.
- Alto rendimiento de instalación en obra, que reduce el tiempo de construcción y presenta beneficios en los casos donde hay condiciones difíciles de excavación o estabilidad de suelos.

- Tienen mayor resistencia y durabilidad que los fundidos en sitio, garantizándose las dimensiones y calidad de los materiales.
- Recubrimientos externos opcionales para condiciones de suelos con una acidez agresiva.
- Los elementos prefabricados, para condiciones que así lo exijan, pueden tener perforaciones para conexiones o pozos, sellos herméticos.

**4.1.2. Proceso Constructivo:** El proceso constructivo normalmente es el mismo y se compone de las siguientes actividades:

- I. Excavación mecánica
- II. Construcción de filtro y solado
- III. Armada de formaletas de muros e instalación de hierros (PDR60)
- IV. Instalación de hierros parrilla inferior
- V. Instalación de hierros parrilla superior
- VI. Vaciado, armado y vibrado de concreto
- VII. Estructura de concreto terminada. Control de concreto (cumplimiento de resistencia 3000psi) (EPM, 2013)

## 4.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.

Es el nivel de estimación de caudales de crecientes e hidráulico, con alcance de predimensionamiento de las estructuras del sistema de drenaje. (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

**4.2.1. Hoya hidrográfica y características físicas.** La hoya hidrográfica es el ente físico natural de todo cálculo en hidrología. Se define como un área limitada topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple, localizada en el punto más bajo de la misma. (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

Las características físicas más importantes de las hoyas hidrográficas son las siguientes:

- Área de drenaje.
- Forma de la hoya.
- Sistema de drenaje.
- Pendiente de la hoya.
- Pendiente del cauce principal.
- Tiempo de concentración

**4.2.1.1. Tiempo de Concentración.** Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración.

Tabla 1. Tiempo de Concentración.

MÉTODO	ECUACIÓN	VARIABLES
Témez	$T_C = 0.30 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$ Ecuación 1. TC por Témez	Tc: Tiempo de concentración, en horas. L: Longitud del cauce principal, en kilómetros. S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).
Williams	$T_C = 0.683 \frac{LA^{0.4}}{DS^{0.25}}$ Ecuación 2. TC por Williams	Tc: Tiempo de concentración, en horas. L: Longitud de cauce principal, en kilómetros. A: Área de la subcuenca, en kilómetros cuadrados. D: Diámetro de una circular, con área A, en kilómetros. S: pendiente total del cauce principal, en porcentaje.
Kirpich	$T_C = 0.06628 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$ Ecuación 3. TC por Kirpich	Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (Km) S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Fuente: (Muñoz Mera, 2020)

**4.2.2. Periodo de Retorno de obras.** Se deberán adoptar los siguientes periodos de retorno para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial:

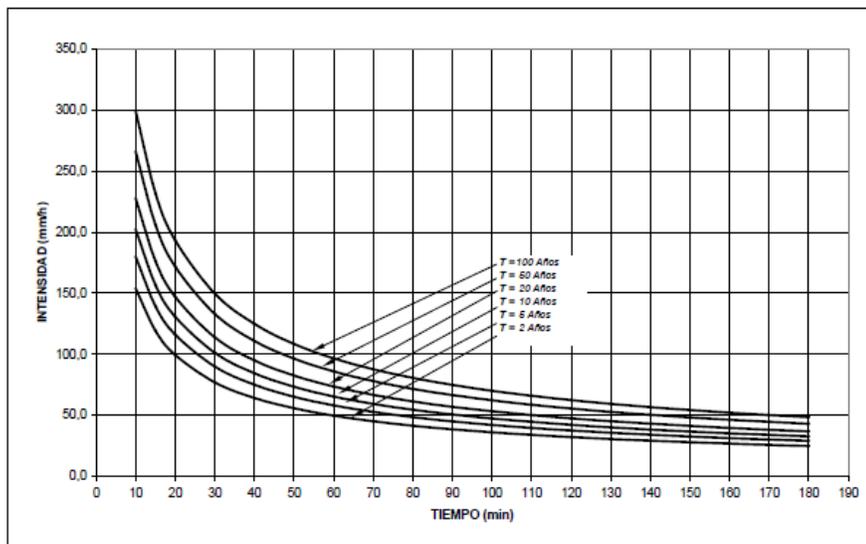
Tabla 2. Periodo de Retorno.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) <sup>1</sup>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación <sup>2</sup>	10
Estructuras de Caída <sup>2</sup>	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: (Muñoz Mera, 2020)

**4.2.3. Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF).** Las curvas intensidad – duración – frecuencia, IDF, son arreglos en los cuales se presentan las lluvias (estimadas como intensidad de precipitación) contra su duración y el periodo de retorno, como se presenta en la ilustración 3.

Ilustración 4. Curvas IDF.



Fuente: (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

**4.2.4. Caudales Máximos (Modelo Lluvia –Escorrentía).** De esta manera, a través de datos históricos de lluvia de corta duración, existentes en la cuenca de interés y representativos de ella, aplicados a la hoya hidrográfica con características específicas geométricas, de suelos, vegetación, etc., se calcula el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial sobre la hoya. (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

Existen dos métodos para ello:

1) Método racional. Existe discrepancia entre los diferentes autores sobre el rango de aplicabilidad del método en relación con el área de drenaje de las hoyas. Valores entre 0.65 y 12.5 km<sup>2</sup> han sido citados en la literatura técnica. La tendencia actual es usar 1.3 a 2.5 km<sup>2</sup> como el límite superior para la aplicabilidad del método racional. En este Manual se deberá adoptar un área de drenaje máxima igual a 2.5 km<sup>2</sup> para el uso de este método.

2) Método del hidrograma de escorrentía superficial, utilizado para áreas de drenaje mayores a 2.5 km<sup>2</sup>. Sherman, el autor de la metodología, lo propuso para áreas de drenaje de hasta 20 km<sup>2</sup>, pero es usual utilizarlo en hidrología para valores mayores. Cuando las áreas de drenaje en una cuenca son mayores a este valor, se aconseja subdividirla en subcuencas y aplicar metodologías computacionales (programas HEC-1 o HEC-HMS, por ejemplo) para tener en cuenta el hidrograma de creciente producido por cada una de las subcuencas y su tránsito a través del canal principal de la misma. (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

## 4.2. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

Su finalidad es el diseño de estructuras de capacidad apropiada utilizando los caudales generados en el estudio hidrológico. Las estructuras pueden ser de desvío, control, protección, remoción o de cruce bajo una vía. (Roshan Pastel, 2019)

Geomorfología

Obras menores.

Drenaje subsuperficial.

Hidráulica de obras mayores.

Hidráulica de obras mayores. Se presentarán los análisis hidráulicos de las obras mayores, se definirá los valores de gálibo, etc.

**4.2.1. Cálculo del número de curva de escorrentía – CN.** En este método, la profundidad de escorrentía, es decir, la profundidad efectiva de precipitación, está en función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN.

- Tipo de suelo (Agricultura, pastos, bosques, unidad residencial, etc.)
- Tipo de tratamiento superficial del suelo.
- Condición hidrológica del suelo.
- Condición hidrológica: Los prados son evaluados con una condición hidrológica de pasto natural.

Tabla 3. Condición Hidrológica de acuerdo con el tipo de cobertura.

CONDICIÓN	COBERTURA
Mala	Menos del 50% de área cubierta y alta intensidad de pastoreo.
Aceptable	50 a 75% del área cubierta y alta densidad de pastoreo
Buena	Más del 75% de área cubierta y ligera intensidad de pastoreo.

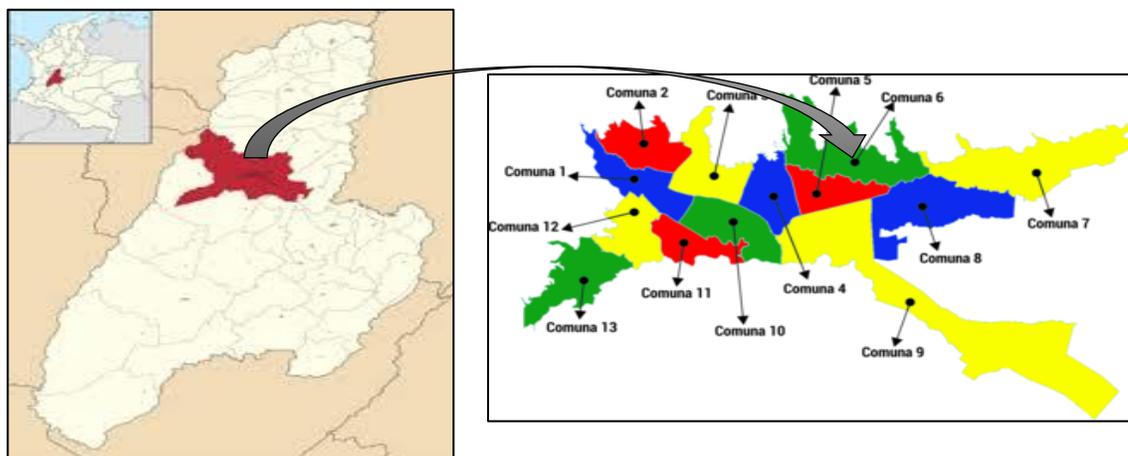
**Fuente. Monsalve Saenz (1995)**

Fuente: (Saenz, 1999)

## 5. LOCALIZACIÓN O GEORREFERENCIACIÓN

El proyecto se localiza en la calle 11 del barrio Ecoparaiso de la comuna 6 en la zona urbana de la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, dicho barrio es aledaño al barrio la Gaviota y cuenta con cerca de 600 habitantes. (Ilustración 5)

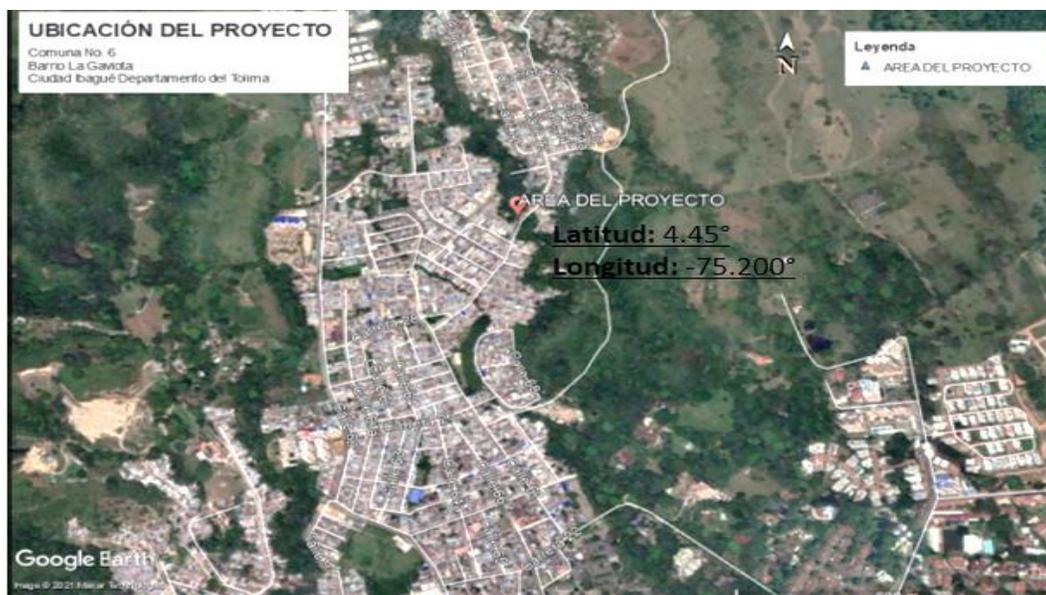
Ilustración 5. Localización del proyecto.



Fuente: (Límites de la Ciudad, 2021)

En la Ilustración 6. se observa la vista aérea del proyecto en estudio, el cual registra coordenadas:  $4^{\circ}27'7.72''$  N –  $75^{\circ}10'45.05''$  O

Ilustración 6. Georreferenciación del proyecto.

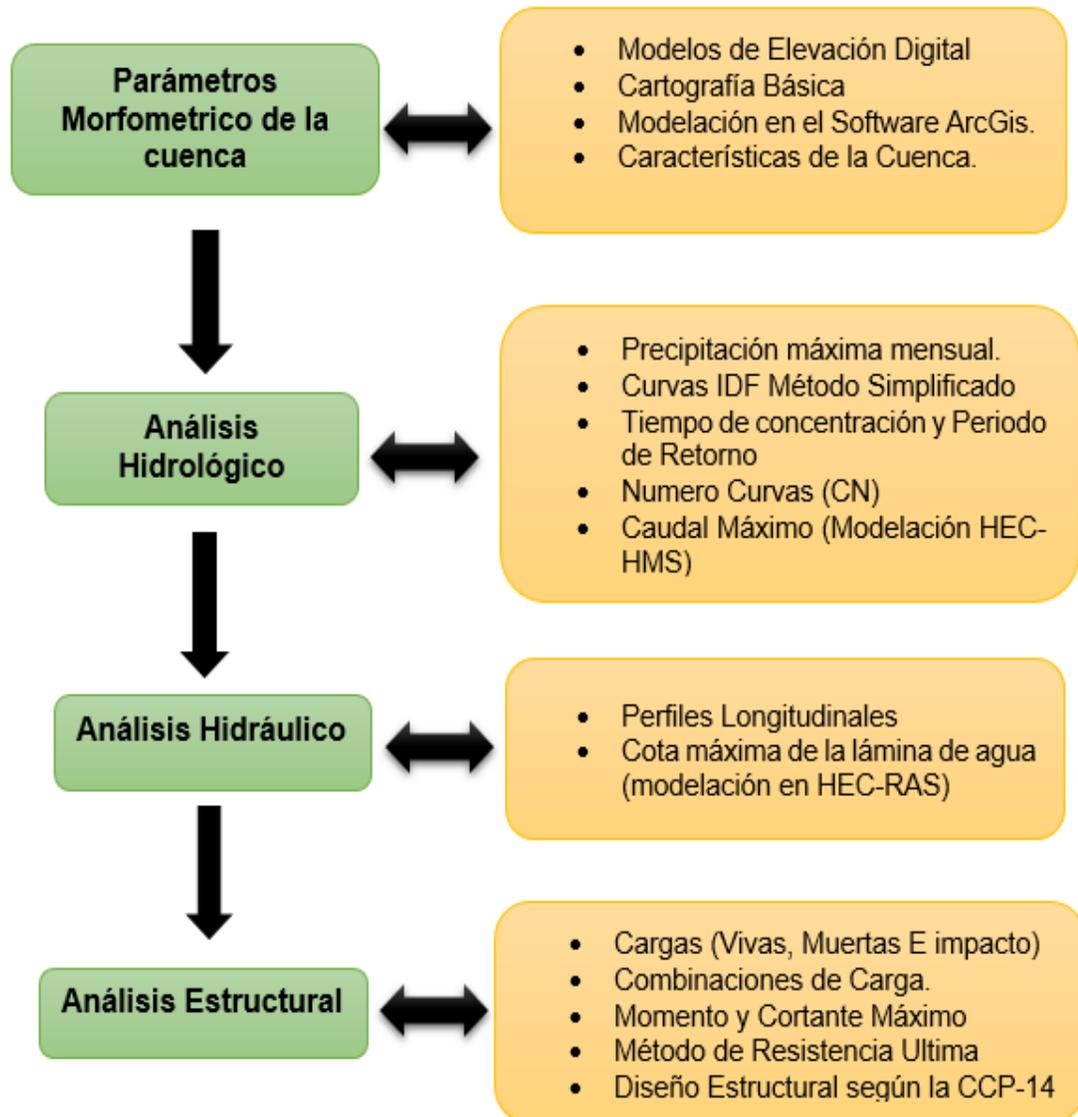


Fuente: Google Earth, 2021.

## 6. METODOLOGÍA.

Para el completo desarrollo del proyecto se llevaron a cabo una serie consecutiva de procesos como se evidencia en la grafica 1. Los cuales permitieron según las condiciones hidrológicas e hidráulicas de la zona, diseñar una infraestructura vial tipo alcantarilla de cajon o box culvert.

Grafica 1. Metodología del Proyecto.



Fuente: autores.

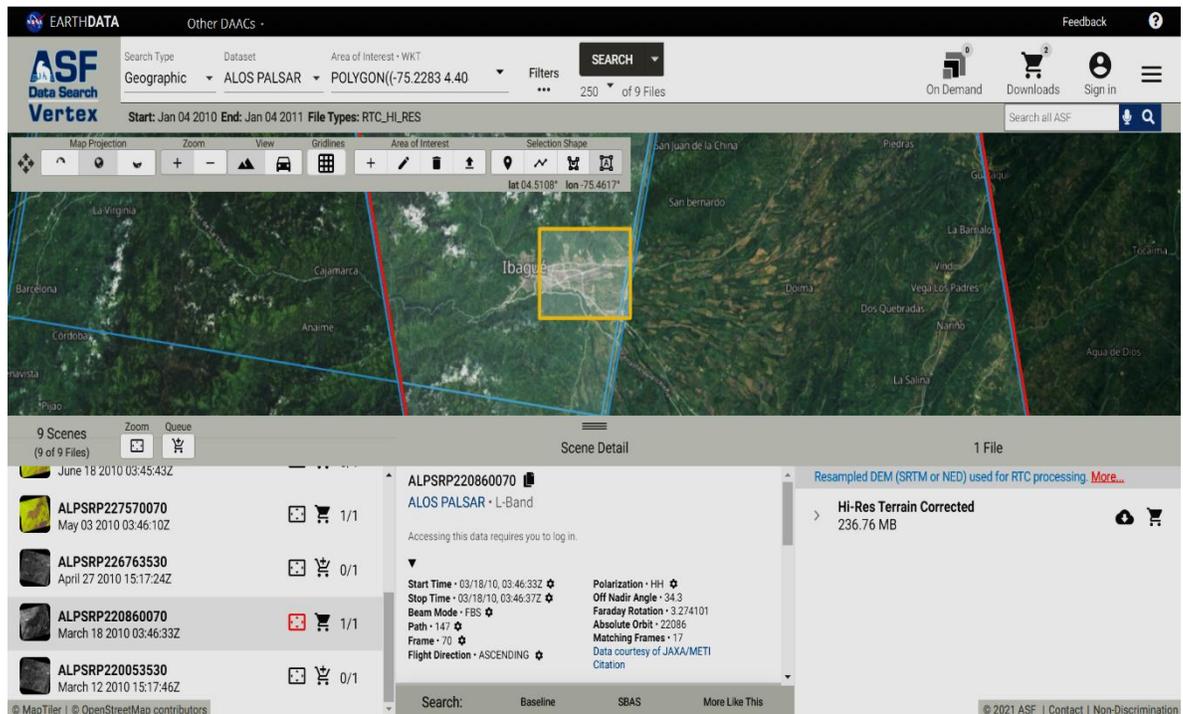
## 6.1. PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA

Para el diseño de una obra de infraestructura vial o hidráulica (box culvert), es necesario conocer los parámetros morfométricos que nos permite caracterizar la quebrada la Tusa, dicha quebrada se intercepta con el único paso vehicular y peatonal que tienes cerca de 600 habitantes del barrio Ecoparaiso en la comuna 6 de la ciudad de Ibagué.

Con el fin de diseñar una estructura económica, funcional y segura en el manual de drenaje para carreteras (2009, INVIAS), sugiere ciertos criterios para determinar la estructura idónea, según los estudios hidrológicos e hidráulicos que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima a la entrada, contemplando el arrastre de sedimentos y la facilidad de mantenimiento de la estructura.

**6.1.1. Modelo de Elevación Digital.** Para obtener el modelo de elevación digital (Imagen tipo Raster), es necesario identificar la zona de estudio, en donde se requiere el modelo, luego se descarga la imagen tipo raster del satélite Alos Palsar con resolución de 12 x 12.5m, este satélite tiene registro fotografía desde el año 2006 hasta el año 2011 y esa información se descarga en la página Earthdata de la NASA. (ver ilustración 7)

Ilustración 7. Modelo de elevación digital.



Fuente: autores.



1. La fotografía raster que se descargó, se le debe cambiar el sistema de coordenadas a Magna Colombia Bogotá.
2. Se debe crear un mapa de dirección de flujo, en donde se detalla las pendientes correspondientes que se extraen del modelo de elevación geográfico.
3. En hidrología se debe crear las líneas de flujo, esto en base a la cartografía de dirección de flujo, en donde se podrá evidenciar las cuencas.
4. Se deberá procesar información tipo vector, en donde se creó un punto de intersección para poder crear el polígono correspondiente a la cuenca hidrográfica, en donde se obtiene el área y perímetro correspondiente de la misma.
5. Con la cartografía correspondiente a la dirección de flujo, se crea la cartografía de pendiente en donde se evidencia la respectiva planimetría. Adicional, en base a esa cartografía se determina longitud axial, puntos más alejados, pendientes de las micro cuencas o subcuencas, longitud del cauce principal y ramificación de la cuenca principal.

**6.1.4. Característica de la Cuenca hidrológica.** Para el cálculo de las características hidrográficas de las micro cuencas y subcuencas, se determinan los principales parámetros, tales como el área, perímetro, longitud del cauce, cotas máximas y mínimas, etc., de acuerdo a lo planteado a continuación:

**Área (A):** el agua de la cuenca limitada en el terreno por la divisoria de aguas. (Km<sup>2</sup>)

**Perímetro (P):** La longitud de la divisoria de aguas. (Km)

**Longitud axial (L):** distancia en línea recta entre la parte más alta de la cuenca y la parte más baja o de desembocadura. (Km)

**Ancho promedio (B):** Relación entre el ancho medio y la longitud del cauce principal de cuenca. El ancho medio se obtiene dividiendo el ancho de la cuenca por la longitud del cauce principal. (m)

Ecuación 1. Ancho Promedio

$$B = \frac{A}{L}$$

Donde:

A= Área (Km<sup>2</sup>)

L= Longitud Axial (m)

**Índice de gravelius o coeficiente de compacidad (Kc):** Relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área igual a la de la cuenca. Siendo así, cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular tendrá un coeficiente mínimo, igual a 1.

Ecuación 2. Índice de Gravelius

$$K_f = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P= Perímetro (m)

A= Área (Km<sup>2</sup>)

Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad a partir de esta se define la forma de la cuenca tomando como criterio los rangos que se muestran a continuación:

- Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25 corresponde a una forma redonda a oval redonda.
- Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5 corresponde a una forma oval redonda a oval oblonga.
- Clase Kc3: Rango entre 1.5 y mayor Corresponde a una forma oval oblonga a rectangular oblonga

Si se asocia el coeficiente de compacidad con el tiempo de concentración, se tienen que en el caso mayor coeficiente de compacidad mayor es el tiempo de concentración y, de allí, es de esperarse que la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación en ella sea menor que en aquella que posee el menor coeficiente de compacidad sinuosidad del cauce. Para las cuencas de análisis los valores indican que tienen forma rectangular oblonga con tiempos de concentración largos.

**Coeficiente de forma:** Índice propuesto por gravelius es la relación entre el área A de la cuenca y al cuadro del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños respectivamente.

Ecuación 3. Coeficiente de Forma.

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

Una cuenca con factor de forma bajo esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño. Se entiende que:

$F > 1$  la cuenca es achatada con tendencia a ocurrencia de avenidas.

$F < 1$  la cuenca es alargada con baja susceptibilidad a las avenidas.

Los cálculos del coeficiente de forma indican que las cuencas en general son alargadas, por lo que se espera que las mismas no tiendan a concentrar flujos, es decir, no presentan tendencia a desarrollar procesos de tipo torrencial.

## **6.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.**

Es el nivel de estimación de caudales de crecientes e hidráulico, con alcance de predimensionamiento de las estructuras del sistema de drenaje. (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

**6.2.1. Precipitación Máxima Mensual.** Para el respectivo análisis hidrológico en la zona de estudio, fue necesario la condensación y el tratamiento de datos históricos por días pluviométricos, en donde se tiene el registro diario de las lluvias presentadas en milímetros. Para su ejecución fue necesario identificar la estación pluviométría activa, se revisa la fecha de instalación y funcionamiento de la estación para la extracción de datos históricos con un promedio mínimo de 20 años.

Ilustración 9. Ubicación de la estación pluviométrica

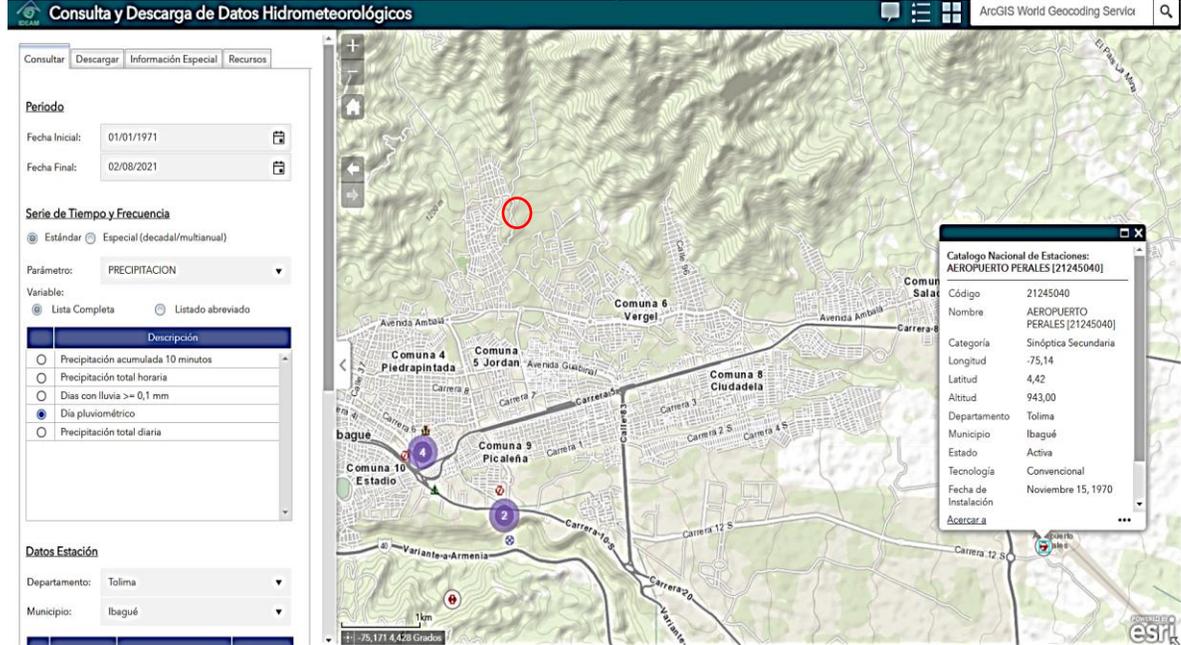


Fuente: Google Earth, 2021.

La estación hidrometría del aeropuerto perales, registra una ubicación con coordenadas latitud: 4.42° y Longitud: -75.14° en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima. Cabe resaltar que es la única estación que actualmente se encuentra activa, y registra más de 20 años de registro pluviométrico, lo que permite tener una información confiable de las precipitaciones en la zona.

Es importante destacar, que el punto de intersección con la quebrada la tusa se ubica en la comuna 6 del barrio Ecoparaiso en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, en donde se evidenció una estación pluviométrica activa hasta la fecha, con datos históricos de precipitación diaria en milímetros desde noviembre del año 1970, datos que fueron extraídos en el portal del IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales). (Ver Ilustración 10).

## Ilustración 10. Estación Pluviométrica Aeropuerto Perales



Fuente: IDEAM

Para determinar los valores máximos de precipitaciones, se realiza un análisis de los datos extraídos del IDEAM. Los cuales por mes se debe elegir la precipitación máxima registrada según el año analizado, para luego establecer la precipitación máxima que se presentó en el año evaluado, se tomaron rangos de tiempo desde el año 1971 hasta la presente fecha, luego se procede a determinar la intensidad, duración y frecuencia en la zona de estudio. Es importante resaltar que, se debe emplear el método simplificado para determinar las curvas IDF y de esta manera obtener la ecuación de Intensidad de lluvia.

**6.2.1.1 Cálculo de curvas IDF por el método simplificado.** La metodología simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos).

En este estudio se dedujeron curvas intensidad – duración - frecuencia por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación.

La mejor correlación obtenida fue la que se obtuvo con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas en una estación, y es la que se propone para los estudios, además es más sencilla de utilizar.

La expresión resultante está dada por:

Ecuación 4. Intensidad de precipitación

$$I = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c}$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

T: Periodo de retorno, en años.

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual

t: Duración de la lluvia, en minutos (min).

a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la ilustración 14, y sus valores se presentan en la Tabla 4.

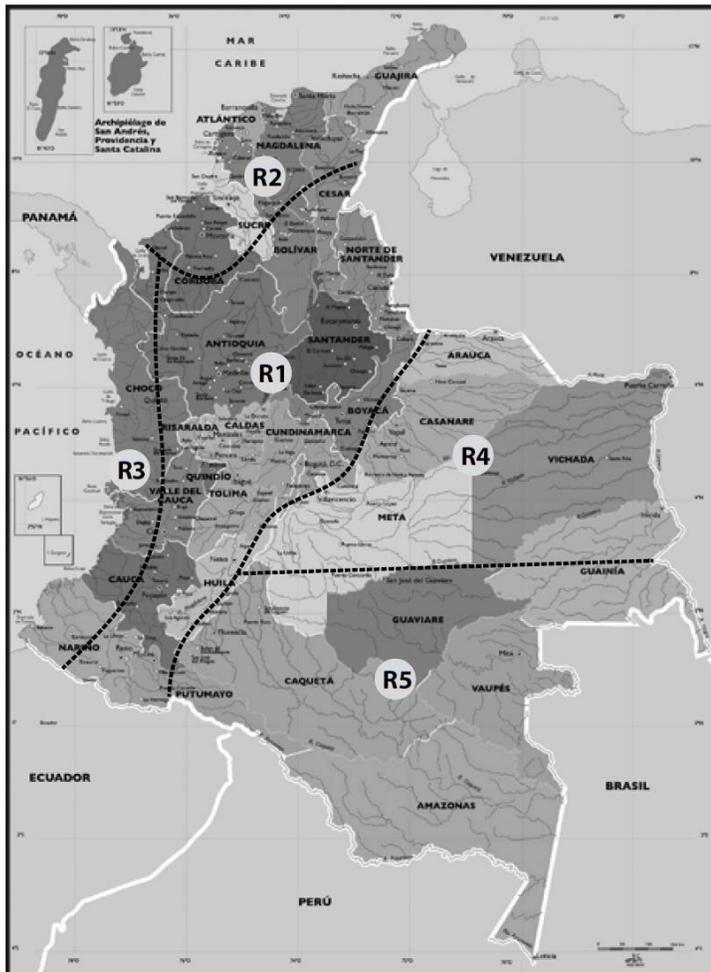
Tabla 4. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual de drenaje de carretera, 2009

Dado que el proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, por tal motivo, se utilizaron los coeficientes pertenecientes a la región Andina (R1). (ver ilustración 11)

Ilustración 11. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d



Fuente: Manual de drenaje de carretera, 2009.

**6.2.2. Tiempo de Concentración.** Tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma. Existe gran número de ecuaciones para el cálculo de concentración ( $T_c$ ) en la hoya a continuación se presentan las ecuaciones usadas en el caso de estudio.

Es importante, resaltar que existen muchas ecuaciones con diferentes autores que tiene como finalidad determinar el tiempo de concertación, sin embargo, solo se utilizaron tres (3) ecuaciones: La Kirpich, Temez y Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

Ecuación 5. Ecuación Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Ecuación 6. Ecuación de Temez

$$T_c = 0.030 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

Ecuación 7. Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos

$$T_c = 0.28 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

D: Diámetro de una cuenca circular con área "A", en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

Por último, al calcular el tiempo de concentración por distintos autores, se promedia y se obtiene un valor en horas, el cual sirve para obtener el tiempo de retraso o Lag time (ver ecuación 8).

Ecuación 8. Tiempo de retraso

$$Lag\ Time = TC * 60 * 0.6$$

**6.2.3. Periodo de Retorno.** Se deberán adoptar los siguientes periodos de retorno para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial. Cabe resaltar que el periodo de retorno son los posibles eventos de ocurrencia máxima que pueden transcurrir dependiendo de la estructura a realizar (ver tabla 5), por ende, es importante tener a la mano los respectivos hietogramas.

Tabla 5. Periodo de Retorno de Diseño en obras de drenaje vial.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) <sup>1</sup>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación <sup>2</sup>	10
Estructuras de Caída <sup>2</sup>	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: (Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte, 2009)

De la tabla 5, se evidencia que la construcción diseñada no es una alcantarillada circular, por el contrario, el diseño es una alcantarilla tipo cajón o pontón que será menor a una luz entre apoyos de 10m, por ende, se adoptó un periodo de retorno de 25 años.

**6.2.4. Numero de curvas de escorrentía.** En este método, la profundidad de escorrentía, es decir, la profundidad efectiva de precipitación, está en función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN.

- Tipo de suelo (Agricultura, pastos, bosques, unidad residencial, etc.)
- Tipo de tratamiento superficial del suelo.
- Condición hidrológica del suelo.
- Condición hidrológica: Los prados son evaluados con una condición hidrología de pasto natural.

Tabla 6. Condición Hidrológica de acuerdo con el tipo de cobertura.

CUBIERTA DEL SUELO			Números de Curva Según Grupos Hidrológicos del Suelo			
CLASE	LABOREO	Condiciones Hidrológicas para la Infiltración	I (A)	II (B)	III (C)	IV (D)
Barbecho		----	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños, o mal definidos	C - T	Pobres	66	74	80	82
	C - T	Buenas	62	71	78	81
	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C - T	Pobres	61	72	79	82
	C - T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
o Amoyás en alternativa	C	Buenas	55	69	78	83
	C - T	Pobres	63	73	80	83
	C - T	Buenas	51	67	76	80
Pastizales	----	Pobres	68	79	86	89
	----	Regulares	49	69	79	84
(Pastos naturales)	----	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
Amoyás Permanentes	---	----	30	58	71	78
	----	Pobres	45	66	77	83
Montes con pastos (Ganadero - Forestal)	-----	Regulares	36	60	73	79
	-----	Buenas	25	55	70	77
	-----	Muy Pobres	56	75	86	91
Bosque Forestales	-----	Pobres	46	68	78	84
	-----	Regulares	36	60	70	76
	-----	Buenas	28	52	63	69
	-----	Muy Buenas	15	44	54	61
Caseríos	----	----	59	74	82	86
Caminos en tierra	----	----	72	82	87	89
Caminos en firme	----	----	74	84	90	92

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2018)

Para determinar el número de curvas (CN), es importantes analizar el mapa de cobertura en donde se define la clase o uso del suelo en la cuenca o polígono en estudio, adicional se debe contar con el mapa de cobertura, para poder definir el tipo de suelo y en conformidad con el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS), los suelos hidrológicamente se clasificaron en cuatro grupos así:

Suelo Grupo I (A): Son los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprende terrenos que se caracterizan por ser profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo y arcilla. Son los suelos que producen menor escorrentía.

Suelo Grupo II (B): Comprende terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo I, otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos. Incluye suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados.

Suelo Grupo III (C): Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados.

Suelo Grupo IV (D): Comprende los suelos que presentan menor impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, terrenos que presentan en la superficie o cerca de ella una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie. Son los suelos que producen mayor escorrentía.

Una vez definido el tipo de suelo y el respectivo uso, se determinan en la tabla 6, el respectivo número de curvas correspondiente a la cuenca en estudio.

**6.4.3. Caudal Máximo.** El Caudal dominante es el que determina las dimensiones y características principales de un canal natural. El caudal dominante formativo depende del caudal máximo y medio, de la duración del flujo y de la frecuencia de inundaciones. Para las relaciones de la geometría hidráulica, es considerado como el cauce lleno que tiene un periodo de retorno de aproximadamente 1.5 años. También se define como caudal máximo el producido por un cuerpo de agua en un evento de creciente. (Instituto Nacional de Vías, 2008).

Para determinar el caudal máximo, se hace a través de datos históricos de lluvia de corta duración, existentes en la cuenca de interés y representativos de ella, aplicados a la hoya hidrográfica con características específicas geométricas, de suelos, vegetación, etc., se calcula el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial sobre la hoya.

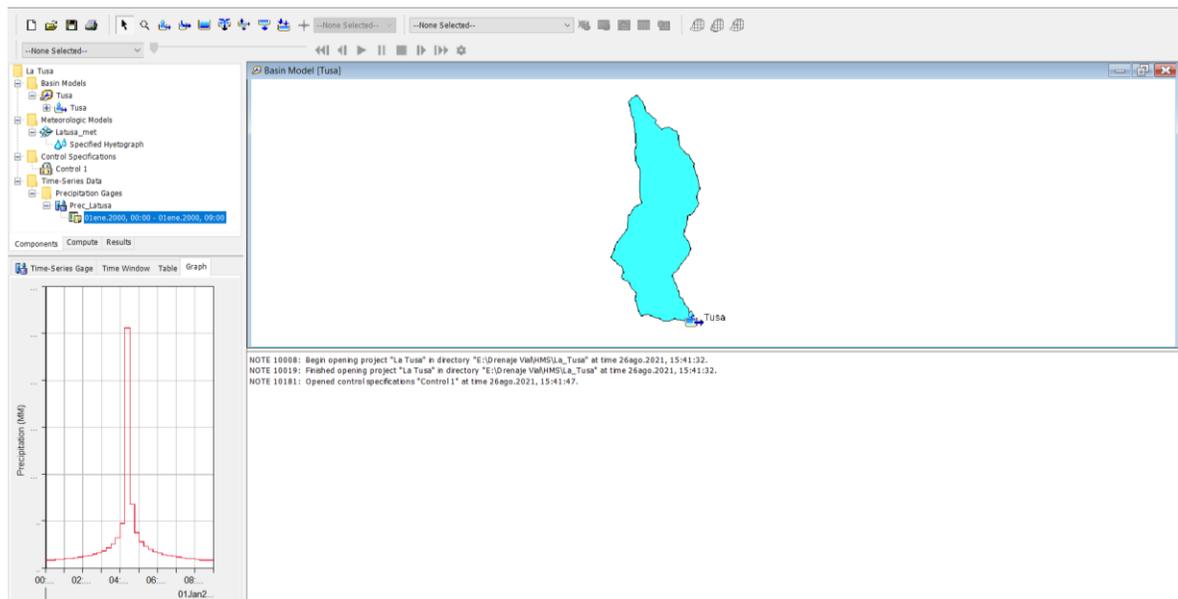
Existen dos métodos para ello:

1) Método racional. Existe discrepancia entre los diferentes autores sobre el rango de aplicabilidad del método en relación con el área de drenaje de las hoyas. Valores entre 0.65 y 12.5 km<sup>2</sup> han sido citados en la literatura técnica. La tendencia actual es usar 1.3 a 2.5 km<sup>2</sup> como el límite superior para la aplicabilidad del método racional. En este Manual se deberá adoptar un área de drenaje máxima igual a 2.5 km<sup>2</sup> para el uso de este método.

2) Método del hidrograma de escorrentía superficial, utilizado para áreas de drenaje mayores a 2.5 km<sup>2</sup>. Sherman, el autor de la metodología, lo propuso para áreas de drenaje de hasta 20 km<sup>2</sup>, pero es usual utilizarlo en hidrología para valores mayores. Cuando las áreas de drenaje en una cuenca son mayores a este valor, se aconseja subdividirla en subcuencas y aplicar metodologías computacionales (programas HEC-1 o HEC-HMS, por ejemplo) para tener en cuenta el hidrograma de creciente producido por cada una de las subcuencas y su tránsito a través del canal principal de la misma.

Por consiguiente, para determinar el caudal máximo por el método de hidrograma, se utilizó el software HEC-HMS, al cual se debe ingresar el área de la hoya hidrográfica, el número de curvas generadas, la pendiente, el tiempo de retraso y la precipitación para un periodo de retorno de 25 años.

## Ilustración 12. Modelación en HEC-HMS



Fuente: autores.

### 6.3. ESTUDIO HIDRÁULICO.

Su finalidad es el diseño de estructuras de capacidad apropiada utilizando los caudales generados en el estudio hidrológico. Las estructuras pueden ser de desvío, control, protección, remoción o de cruce bajo una vía. (Roshan Pastel, 2019)

Geomorfología

Obras menores.

Drenaje subsuperficial.

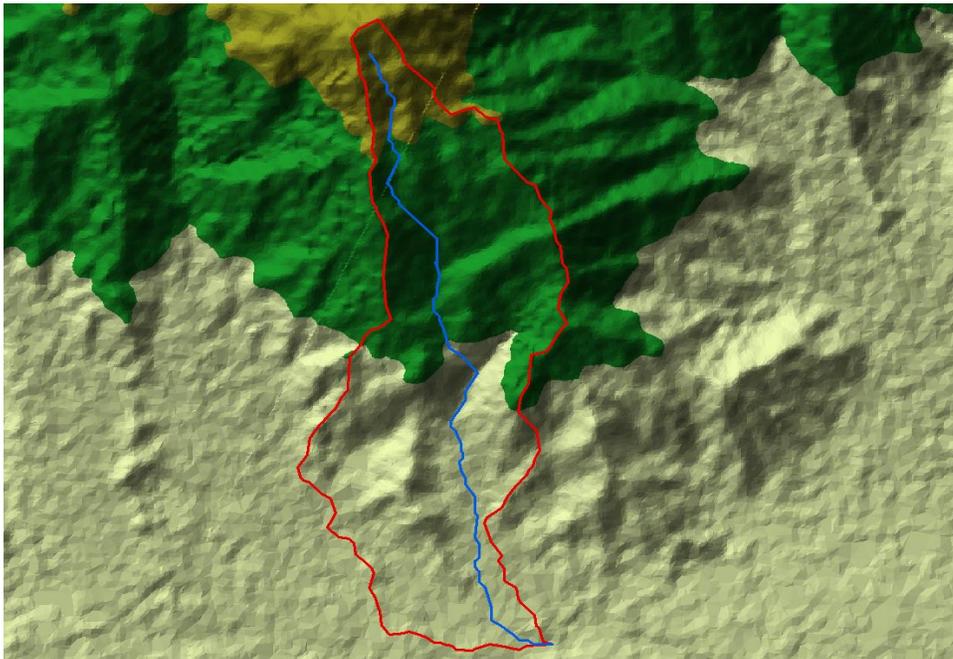
Hidráulica de obras mayores.

Hidráulica de obras mayores. Se presentarán los análisis hidráulicos de las obras mayores, se definirá los valores de gálibo, etc.

**6.3.1. Perfiles Longitudinales.** Para obtener los perfiles longitudinales de la quebrada la Tusa, en la entrada y salida de la infraestructura hidráulica Tipo Alcantarilla de Cajón o Box Culvert, fue necesario utilizar la extensión GeoRas en ArcGis, el cual procesa la información altimétrica correspondiente a la fotografía de alta resolución del modelo de elevación topográfico (DEM).

Con el modelo de elevación digital tipo Raster, se crea un mapa de pendientes en una modelación triangular en 3D, en donde según la escala de colores, es evidencia los puntos más altos (ver ilustración 13).

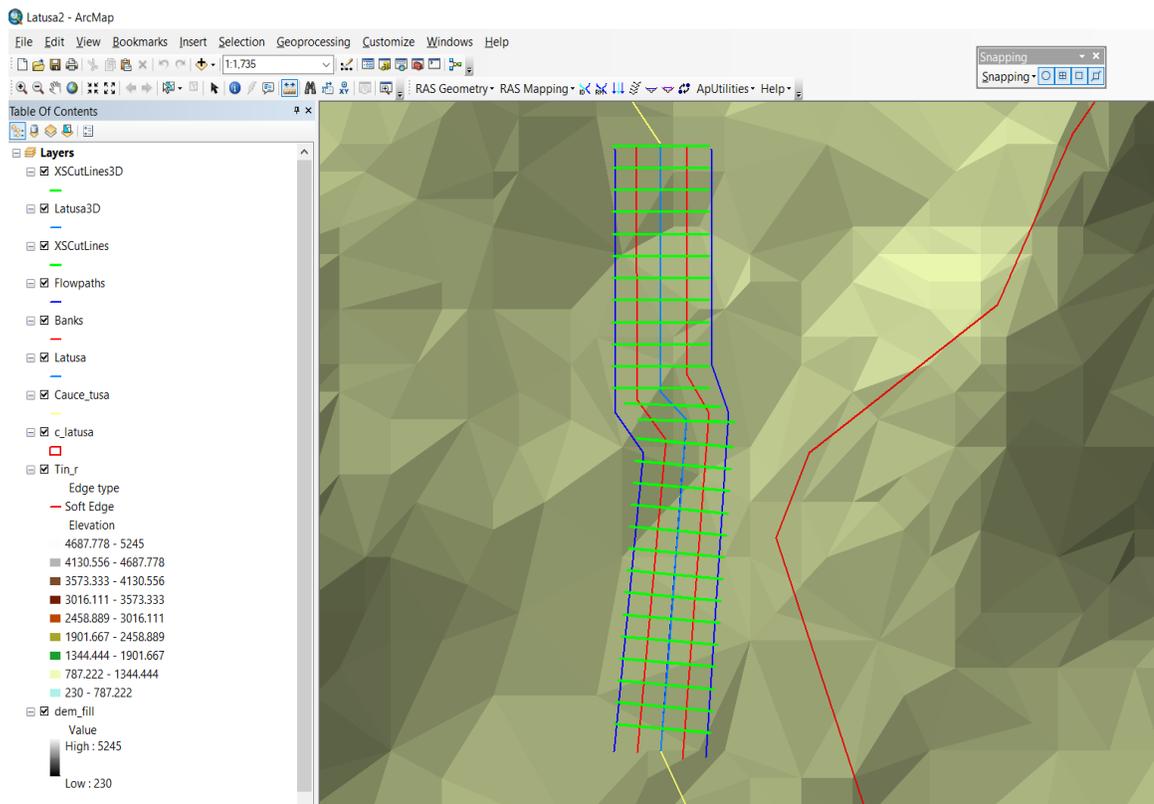
Ilustración 13. Mapa de Pendiente



Fuente: autores.

Una vez se obtiene el mapa de pendientes, se deberá hacer principal énfasis en el cauce principal, en dónde se localizó el punto en el cual se piensa intervenir con la infraestructura hidráulica. Una vez identificado el punto a intervenir, se define parámetros como la dirección del cauce, el cauce principal, la banca o ancho posible del cauce y por último se realiza los respectivos cortes cada (20m), esto debido a que el análisis se efectuó en una longitud de 520m en donde se toma en cuenta datos aguas arribas y abajo de la estructura. Cabe resaltar, que la modelación funciona cuando se ancla los respectivos cortes con el mapa de pendientes.

Ilustración 14. Modelación en Geo-Ras

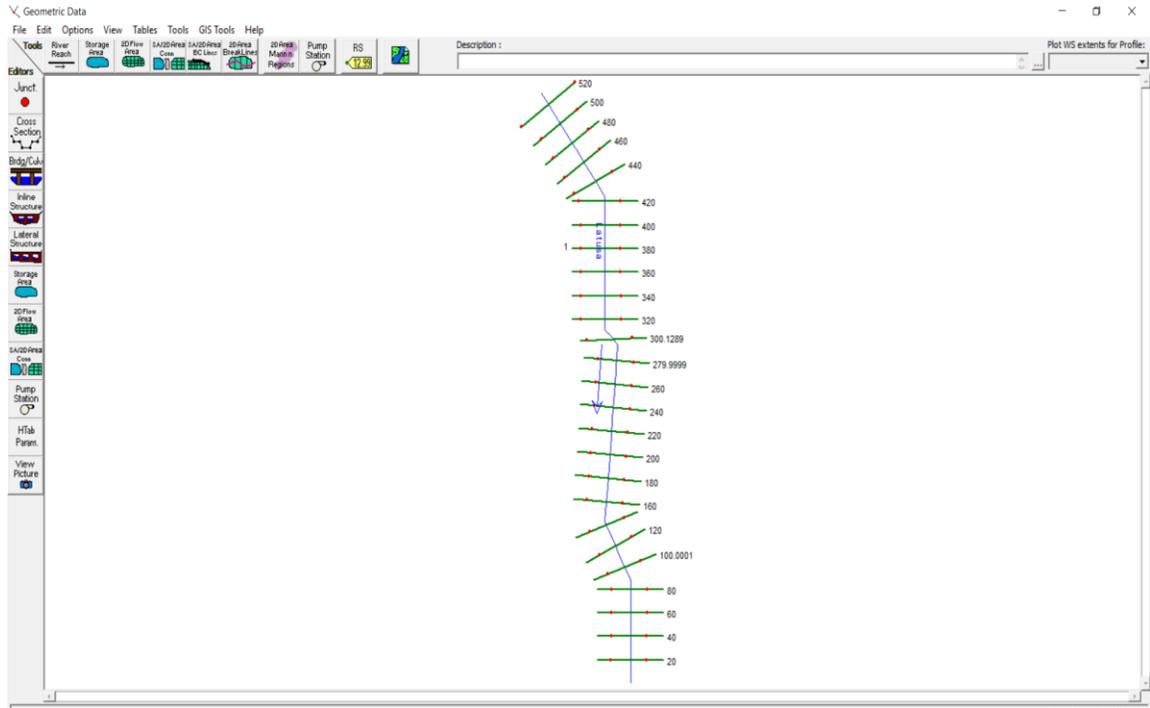


Fuente: autores.

**6.3.2. Cota Máxima de la Lámina de Agua.** Para determinar la cota máxima de la lámina de agua, se implementó el uso del software HEC-RAS, el cual modeló con un caudal máximo a un periodo de retorno de 25 años definido para estructuras con una luz menor de 10m, en una intensidad, duración y frecuencia máxima.

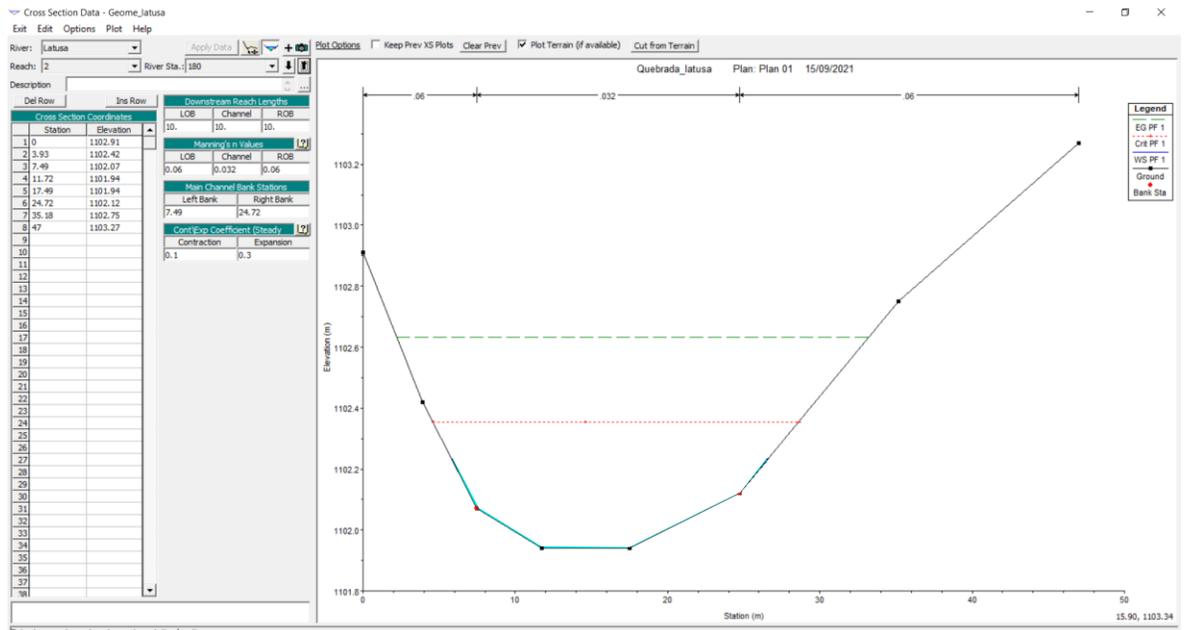
Para determinar la cota de la lámina de agua máxima, que se puede llevar a presentar, se deberá exportar los datos de los perfiles longitudinales obtenidos en la modelación GeoRas, con el fin de importar esa información al modelo GEO-RAS, de esta manera se obtiene los respectivos cortes longitudinales cada 20 metros. (ver ilustración 15).

Ilustración 15. Vista en planta cortes



Fuente: autores.

Ilustración 16. Perfil longitudinal.



Fuente: autores.

Para determinar el nivel máximo de la cota de la lámina de agua, se debe ingresar, el caudal máximo con un periodo de retorno de 25 años las unidades están dadas del cauce principal y el coeficiente de Manning el cual está dado por las condiciones del cauce.

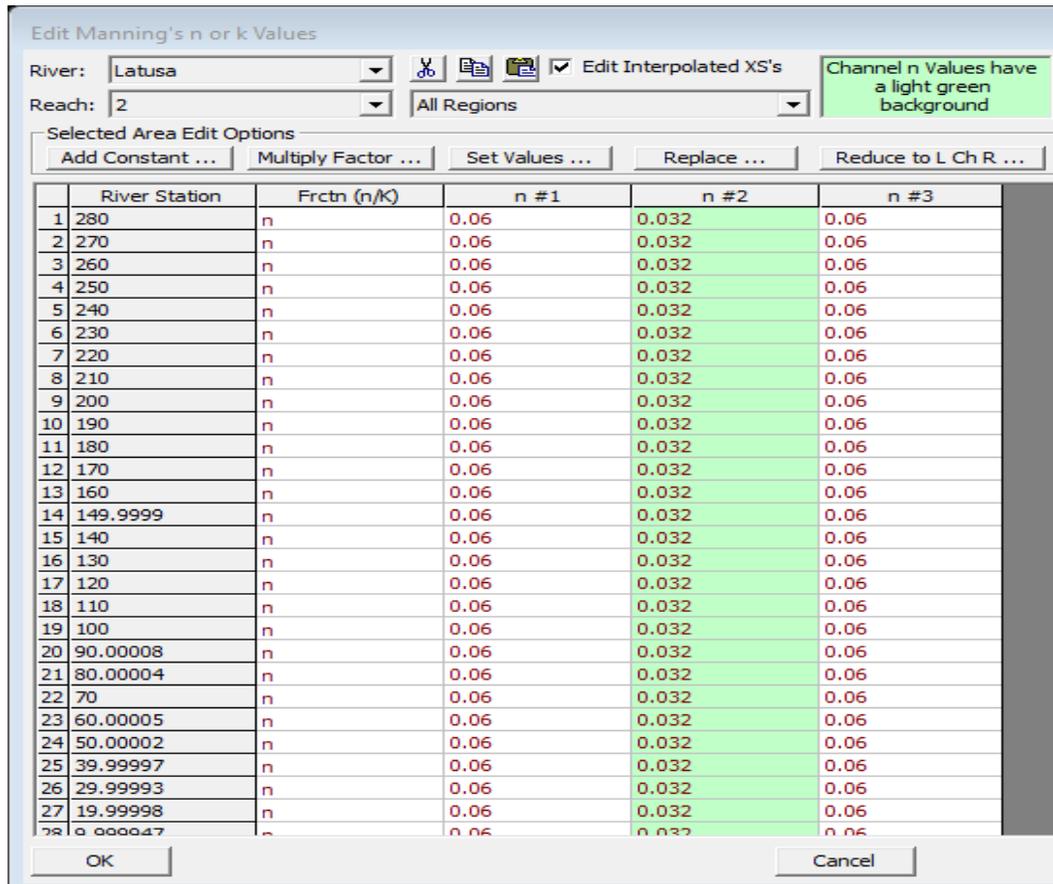
Ilustración 17. Numero de Manning.

Número Manning "n"	Descripción del Canal
0.026	Fondo y bordos compuestos de arcilla. Bordos limpios excepto para pasto corto y expuesto a raíces de árboles en algunos lugares.
0.030	Fondo consistente de arena y arcilla. Los bordos son generalmente suaves y libres de desarrollo vegetal durante las avenidas.
0.032	Fondo consistente de arena y grava. El bordo izquierdo es de roca y el bordo derecho es principalmente de grava.
0.042	Fondo consistente de arena y grava. Ambos bordos están alineados con árboles en la parte de arriba y abajo con la línea de agua.

Fuente: (Universidad Nacional de Ingeniería, 2019)

Se le asignó un coeficiente de Manning de 0.06 en el costado izquierdo y derecho de la cuenca, debido a que la cobertura cuenta con pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa), adicional en el centro de la cuenta se le asignó un valor de 0.032 debido a la estructura la cual es un fondo consistente de arena y grava.

Ilustración 18. Asignación del número de manning.



Fuente: autores.

## 6.4. DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el diseño estructural de la alcantarilla tipo cajón o box culvert, se tuvo en cuenta los materiales a utilizar, el refuerzo mínimo, los recubrimientos, las cargas de diseño y combinaciones de carga, con la finalidad, de diseñar una estructural que cumpla con la topografía, el tipo de suelo, la cota máxima y caudal máximo.

### 6.4.1. Materiales.

Concreto: La calidad del concreto para estas estructuras debe cumplir con los requisitos de la norma de la EAAB-ESP NP-005 Materiales de construcción: Concretos y morteros.

La resistencia de diseño a la compresión mínima para el concreto debe ser de  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  (3000 psi) y la relación agua cemento deberá ser máxima de 0.45.

Acero de refuerzo: El acero de refuerzo debe cumplir con el capítulo C.3.5 del NSR-10 Resistencia a la fluencia  $f'y+ = 4200 \text{ kg/cm}^2$  (60000 PSI)

**6.4.2. Espesores mínimos.** La definición del espesor mínimo está controlada por los recubrimientos mínimos requeridos para el refuerzo y por las consideraciones de resistencia e impermeabilidad.

No se emplean espesores menores a 200 mm para dos mallas de refuerzo. Cuando por requerimientos de diseño sólo se requiera una malla de refuerzo, el espesor mínimo será de 150 mm.

**6.4.3. Refuerzo.** El refuerzo mínimo a flexión está definido en la sección 10.5 del ACI-350-06, excepto para las estructuras hidráulicas sujetas a régimen de cargas vehicular, para las cuales el refuerzo mínimo a flexión será el determinado en la sección A.7.9 de la CCP-14 y la sección 8.17.1 de la AASHTO.

Los detalles de refuerzo, su desarrollo y empalme de refuerzo están de acuerdo con los capítulos C7 y C12 de NSR-10 Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistentes, excepto para estructuras sometidas a régimen vehicular, las cuales se regirán por el CCP-14. El refuerzo mínimo por retracción y temperatura está definido en la sección 7.12 del ACI 350-06.

La cuantía mínima para elementos con dimensiones menores a 6.00 m entre juntas es de 0.0033.

**6.4.4. Recubrimientos.** Los recubrimientos mínimos de diseño están definidos en la tabla 7, el cual depende de la situación a la cual está expuesta la estructura hidráulica, por ende, tomara un valor de 5.0 cm. como mínimo en el recubrimiento.

Tabla 7. Recubrimiento para las armaduras principales no protegidas.

Situación	Recubrimiento (mm)
Exposición directa al agua salada	100
Hormigonado contra el suelo	75
Ubicaciones costeras	75
Exposición a sales anticongelantes	60
Superficies de losa de los puentes con tránsito de neumáticos con clavos o cadenas	60
Otras situaciones exteriores	50
Otras situaciones interiores	
• Hasta Barras No. 11	40
• Barras No. 14 y No. 18	50
Fondo de losas vaciadas <i>in situ</i>	
• Hasta Barras No. 11	25
• Barras No. 14 y No. 18	50
Encofrados inferiores para paneles prefabricados	20
Pilotes prefabricados de concreto armado	
• Ambientes no corrosivos	50
• Ambientes corrosivos	75
Pilotes prefabricados de concreto presforzado	50
Pilotes vaciados <i>in situ</i>	
• Ambientes no corrosivos	50
• Ambientes corrosivos	
– En general	75
– Refuerzo protegido	75
• Cáscaras	50
• Concreto vaciado con bentonita, concreto vaciado por el sistema tremie o construcción con lechada	75

Fuente: (INVIAS, 2015)

**6.4.4. Carga de Diseño.** Se evalúan todas las cargas que se puedan presentar en los diferentes elementos de la estructura, durante la etapa de construcción y de operación, haciendo las respectivas combinaciones y distribuciones de carga según las normas especificadas.

Se deben evaluar las siguientes cargas:

**6.4.4.1 Carga Muerta.** Las cargas muertas en una estructura representan el peso de todos los elementos que participan en su construcción, y los que se añaden posteriormente y quedan fijos a ella.

Peso propio  
Peso del relleno  
Presiones laterales  
Presión hidrostática  
Presión lateral del terreno  
Presión lateral por sobrecarga

**6.4.4.2 Carga Viva.** Se adopta que las estructuras están sometidas a régimen de carga vehicular, para lo cual se considera el camión de diseño C40-95 y afectado por el factor de impacto donde sea aplicable. La distribución de cargas vehiculares se realiza de acuerdo con los criterios de las normas AASHTO y/o CCP14.

Cuando existen rellenos sobre la losa superior de la alcantarilla, la distribución de la carga de camión a través del relleno se hace como se indica a continuación:

Carga directamente sobre la cara superior de la alcantarilla  
Carga de camión (H o HS)  
Carga de vía (H o HS)  
Carga transmitida a través del relleno

**6.4.4.3. Peso del Relleno.** Según la AASHTO las presiones de la tierra o las cargas sobre las alcantarillas deben calcularse considerando el peso de la tierra colocada directamente sobre la estructura.

Para las alcantarillas de cajón o box Culvert deberá considerarse el 70% del peso real de la tierra, lo cual equivale a un incremento del 40% en los esfuerzos permisibles para la carga en el proyecto, en relación a los esfuerzos permisibles por carga viva.

Las presiones laterales se trabajarán con el coeficiente de presión de tierras en reposo. Se considera la presión de agua exterior de acuerdo con el estudio de suelos y un empuje adicional debido a la carga viva, equivalente a una sobre carga vertical uniforme de 0.30m de suelo.

Subpresión: Se calculará con el nivel freático suministrado por el estudio de suelos, con el fin de revisar la estructura a la flotación.

En la verificación de la capacidad portante, se consideran todas las cargas actuantes vivas, muertas etc.

- El diseño se lleva a cabo utilizando el Método de resistencia última.
- Como mínimo se consideran los siguientes tipos de carga:

I Peso propio durante construcción (D) (sin losa superior) •  
II Peso propio (D)

- III Presión del agua (H)
- IV Empuje de tierras (H)
- V Carga viva (L)
- VI Carga viva (vehicular) (L)
- VII Sobrecarga (L)

Las resistencias de diseño multiplicadas por los factores de reducción de capacidad  $\phi$  (dados en ACI 350-06), deben exceder los efectos de las cargas mayoradas multiplicadas por los factores de carga, de acuerdo con las siguientes combinaciones.

- 1.60 D
- 1.40 D + 1.70 L
- 1.05 D + 1.28 L + 1.00 E
- 1.40 D + 1.70 L + 1.70 H
- 0.90 D + 1.00 E
- 0.90D + 1.70 H

La Estructura definitiva estará dada por la ecuación 9, con las respectivas combinaciones de carga.

Ecuación 9. Combinaciones de carga para el momento último.

$$Mu = 1.3 * (M_{cm} + 1.67 * M_{cv} + M_{ca})$$

Donde:

M<sub>cm</sub>: Momento carga muerta.

M<sub>cv</sub>: Momento carga viva.

M<sub>ca</sub>: Momento carga agua.

**6.4.4.4. Control de agrietamiento.** Las secciones transversales de máximo momento positivo y negativo, se dimensionan de tal manera que el parámetro Z no exceda 20.5 MN/m.

Para estructuras sometidas a cargas vehiculares, el parámetro Z no debe exceder de 17.5 MN/m. Los valores de Z serán establecidos para recubrimiento que no exceda 5 cm y se trabaja con este valor, el recubrimiento adicional se trata como simple protección.

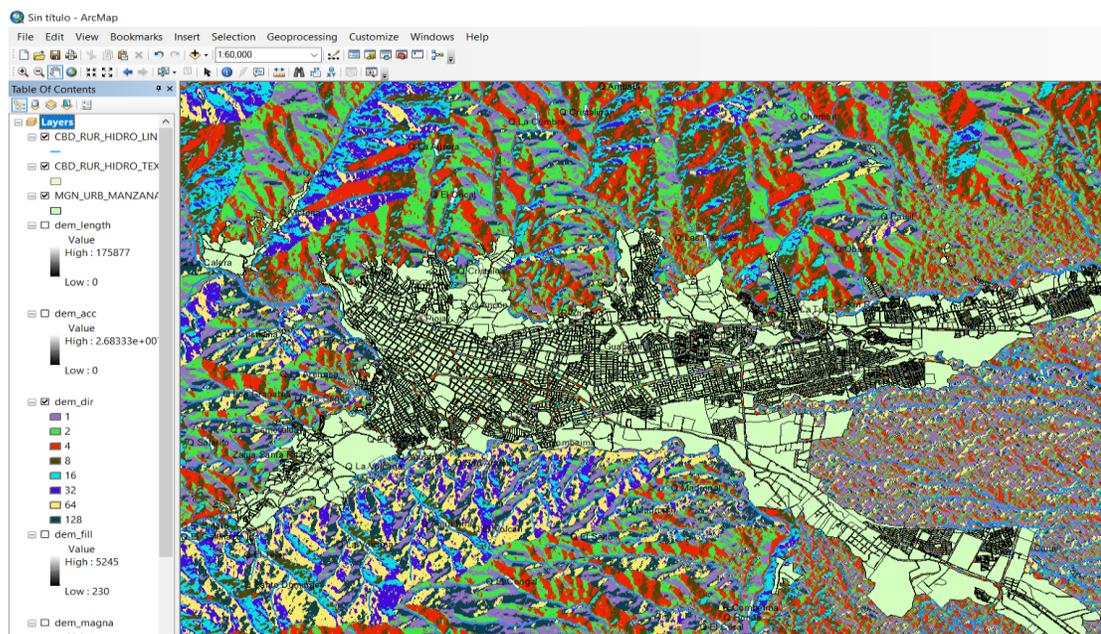
## 7. RESULTADOS.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las fases del proyecto.

### 7.1. PARÁMETROS MORFOMETRICOS.

Para determinar los parámetros morfométricos de la cuenca, la cual se ubica en la comuna 6 del barrio Ecoparaiso en la ciudad de Ibagué, se realiza la modelación en el software ArcGis, con la respectiva cartográfica base, en donde se evidencia el urbanismo de la ciudad de Ibagué, adicional la hidrografía y su altimetría, con la finalidad de localizar el punto de estudio y con base en el modelo de elevación digital tipo raster, generar una serie de mapas el cual nos permite determinar las características de la cuenca principal, subcuencas y su orden hidrológico.

Ilustración 19. DEM\_Dirrección

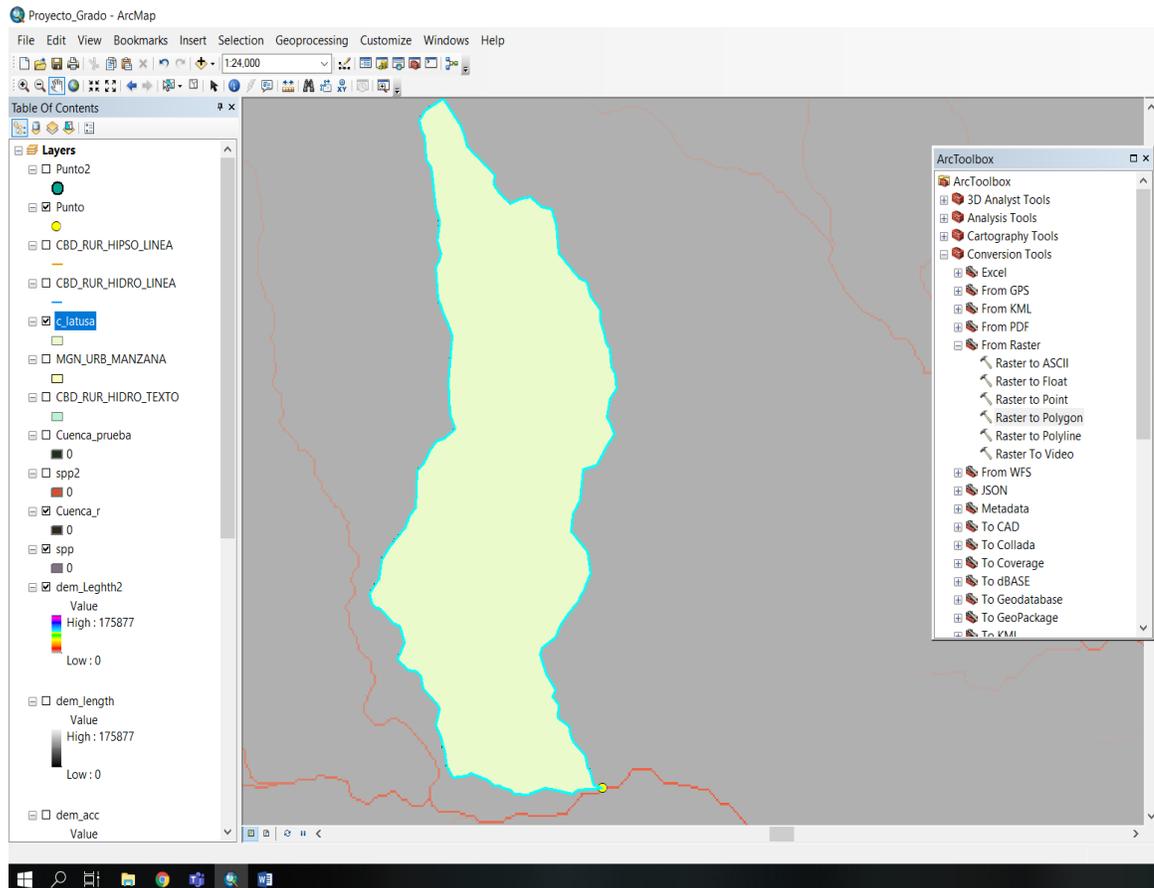


Fuente: autores.

En la ilustración 19, se evidencia, el mapa generado al convertir la fotografía del modelo de elevación digital tipo Raster en un modelo de pendientes, vista de manera tridimensional (3D), el cual presenta las respectivas corrientes que se desencadenan desde el punto más alto registrado hasta el más bajo adicional sus intersecciones con otras subcuencas.

Con el mapa de direcciones definido y bajo la modelación hidráulico, se obtiene las líneas de flujo principales, en donde se ubica la quebrada la Tusa al intersectarse con el rio Chípalo en donde se crea capas tipo vector para crear, el polígono irregular que acobia toda el área de estudio. (ver ilustración 20)

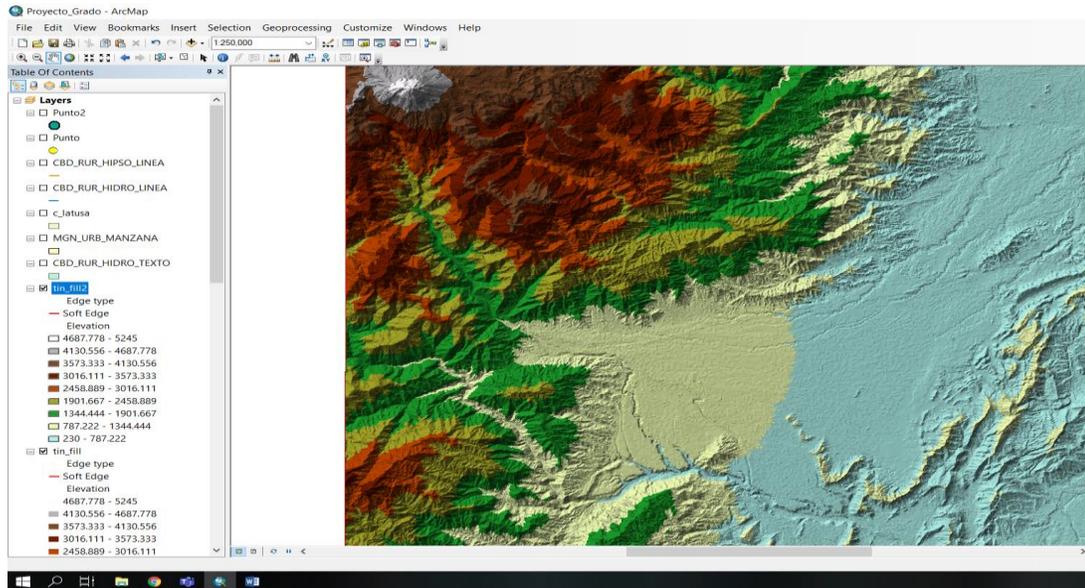
Ilustración 20. Líneas de flujo y polígono



Fuente: autores.

Con la fotografía de alta resolución del modelo de elevación digital tipo raster, se utiliza para obtener el mapa de pendientes, al convertir la imagen RASTER que se componen de varios pixeles con información individual a una imagen TIN que se compone de un modelo tridimensional (3D) con información de altimetría, en donde se maneja una escala de colores que va desde el color blanco como el punto más al alto o la cúspide de la montaña hasta el color azul como el más bajo. (ver ilustración 21)

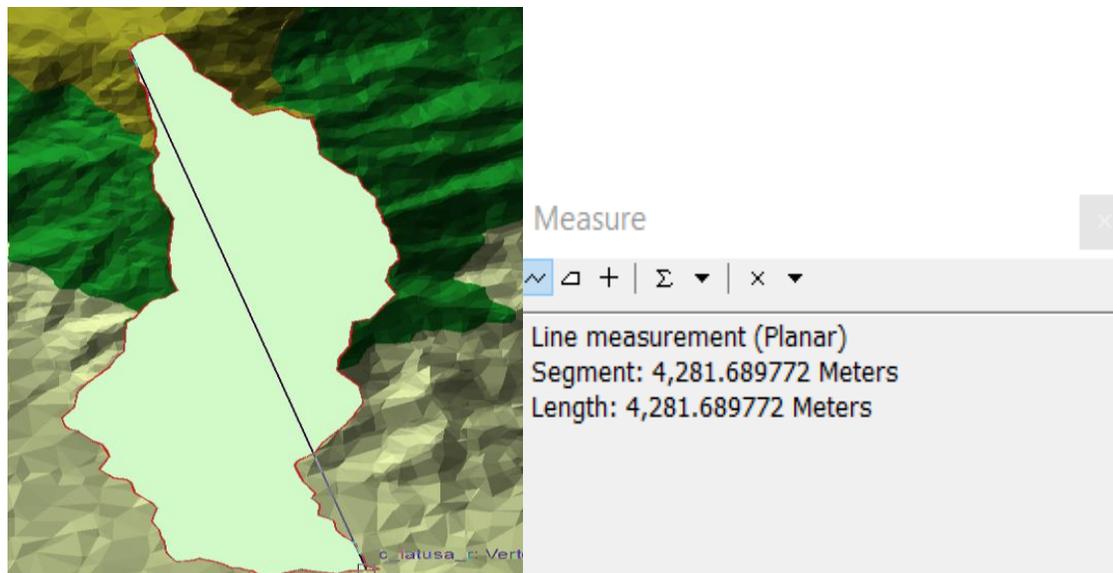
Ilustración 21. Mapa de altimetría.



Fuente: autores.

En la ilustración 22, se evidencia la longitud axial que es una medida en kilómetros desde los extremos más alejados del polígono, en donde parte de un inicio o punto de intersección con el río Chípalo y determina en el punto más alejado de la ramificación de las subcuencas y se obtiene como resultado 4.29 km de longitud axial.

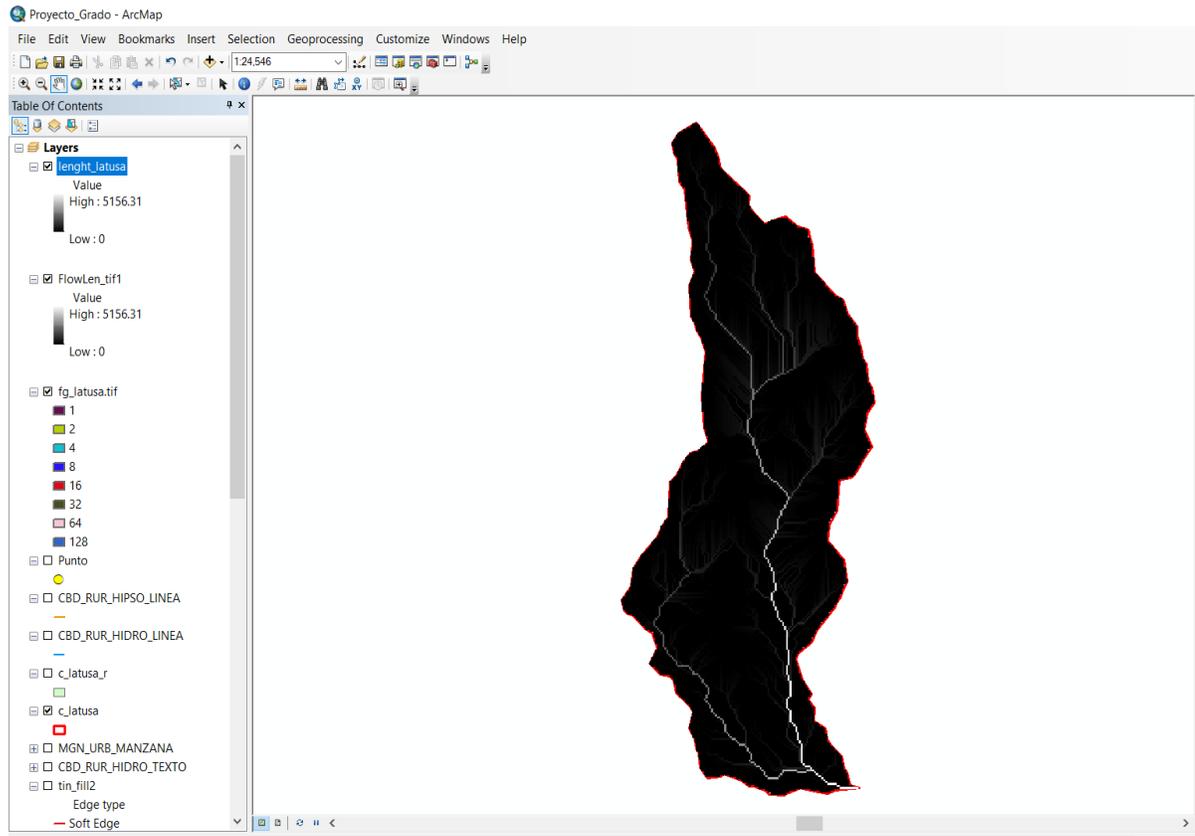
Ilustración 22. Longitud Axial.



Fuente: autores.

En la ilustración 23, se evidencia las respectivas ramificaciones, con principal énfasis, en el cauce principal, el cual es la quebrada la tusa, adicional se presenta las subcuencas que abastecen a la quebrada la tusa.

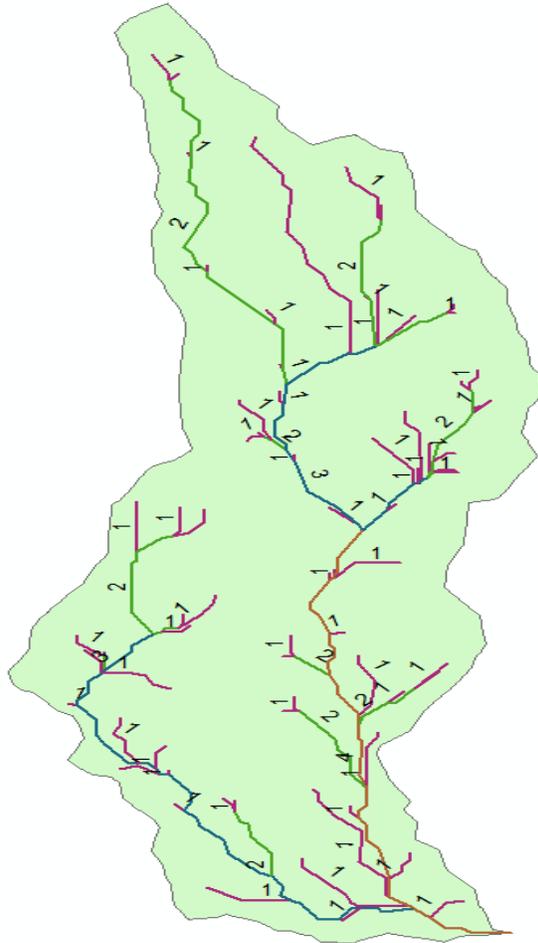
Ilustración 23. Longitud del cauce principal



Fuente: autores.

Con las ramificaciones definidas de la cuenca principal en la zona de estudio, se clasifican las corrientes o subcuencas, en donde uno (1) es la corriente inicial o punto de partida, dos (2) donde se unen o se interceptan dos corrientes de categoría uno, categoría tres (3), se define como la unificación o creación de un cauce que se alimenta de una corriente de categoría uno y dos, eso nos permite analizar el cauce principal como un cuerpo de agua que se intercepta adicionalmente de otras subcuencas y como se ve afectado. (ver ilustración 24)

Ilustración 24. Clasificación de las corrientes



Fuente: autores.

**7.1.1. Características de la cuenca.** Los parámetros morfométricos o características de la cuenca, que se obtiene en la modelación computacional, son el área del polígono tipo vector, el perímetro del mismo, la longitud axial, la cota máxima y cota mínima registrada por el mapa de pendientes. (ver tabla 8)

Tabla 8. Característica de la cuenca limitada.

Table								
c_latusa_r								
	FID	Shape *	Id	gridcode	area	Perimetro	Cota_Maxim	Cota_min
▶	0	Polygon ZM	1	0	4.009317	11.248502	2184.34082	1039

Fuente: autores.

De la tabla 9, se evidencia que la pendiente media equivale a 26.68%, esto se logra determinar en el polígono tipo vector, al obtener el número de ocurrencia en la ramificación y el promedio de los rangos inferior y superior.

Tabla 9. Pendiente media.

RANGO			Numero de Ocurrencia	Pr *N Ocurrencia
Inferior	superior	Promedio		
0	10	5	5227	26135
10	20	15	4069	61035
20	30	25	5316	132900
30	40	35	5581	195335
40	50	45	3686	165870
50	60	55	1373	75515
60	70	65	302	19630
70	80	75	72	5400
80	90	85	26	2210
90	100	95	7	665
TOTAL			25659	684695
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA				26.68 %

Fuente: autores.

Para el ancho promedio, el coeficiente de forma, el índice de Graveluis, se utilizaron las ecuaciones planteadas en la metodología, reemplazando respectivamente los valores ya obtenidos por el software ArcGis.

Tabla 10. Características de la cuenca.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Área	Km2	4.009
Perímetro	Km	11.24
Longitud Axial	Km	4.29
Ancho Promedio	Km	0.934

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Coefficiente de Forma		0.218
Indicé de Gravelius		1.583
Cota Mayor	msnm	2184.3
Cota Menor	msnm	1039
Pendiente Media	%	26.68
Longitud de Drenajes	Km	20.475
Densidad de Drenaje	m/km <sup>2</sup>	5.107
Longitud del Cauce principal	km	4.819338
Pendiente del Cauce Principal	m/m	0.23764675

Fuente: autores.

De la tabla 10, se evidencia que el ancho promedio se calculó con el área y la longitud axial y da un valor de 0.934 Km, lo que permite representar un ancho promedio del polígono o cauce principal.

El valor calculado del índice de gravelius o coeficiente de compacidad (Kc) da 1.583 valor adimensional, el cual caracteriza la forma de la cuenca principal en una Clase Kc3, la cual está definida para un rango entre 1.5 y mayor, el cual corresponde a una forma oval oblonga a rectangular oblonga, Por ende, se define que la cuenca es muy irregular en su geometría.

El coeficiente de forma, está definido por la sustracción entre el área y la longitud axial de la cuenca principal elevado al cuadrado, y da como resultado un valor adimensional de 0.218 el cual define, que una cuenca con un factor de forma bajo esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño. Cabe resaltar, que según el valor calculado la cuenca es menor a un coeficiente uno y se caracteriza por ser achatada con tendencia a ocurrencia de avenidas.

## 7.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.

Para el respectivo análisis de los resultados hidrólogos, obtenidos para la quebrada la tusa, se desglosaron temas como los valores máximos de precipitación, curvas IDF, los hietogramas, el número de curva y finalmente se obtiene el caudal máximo.

**7.2.1. Valores máximos de precipitación.** De acuerdo con los valores máximos registrados en la estación, los más altos valores se han presentado en los años 1972, 1988 y 2018, Con valores de 121.6 mm, 123.5 mm y 103.7 mm, respectivamente (ver tabla 11). A partir de los valores máximos anuales, se calcularon las curvas IDF por el método simplificado.

Tabla 11. Precipitación máxima.

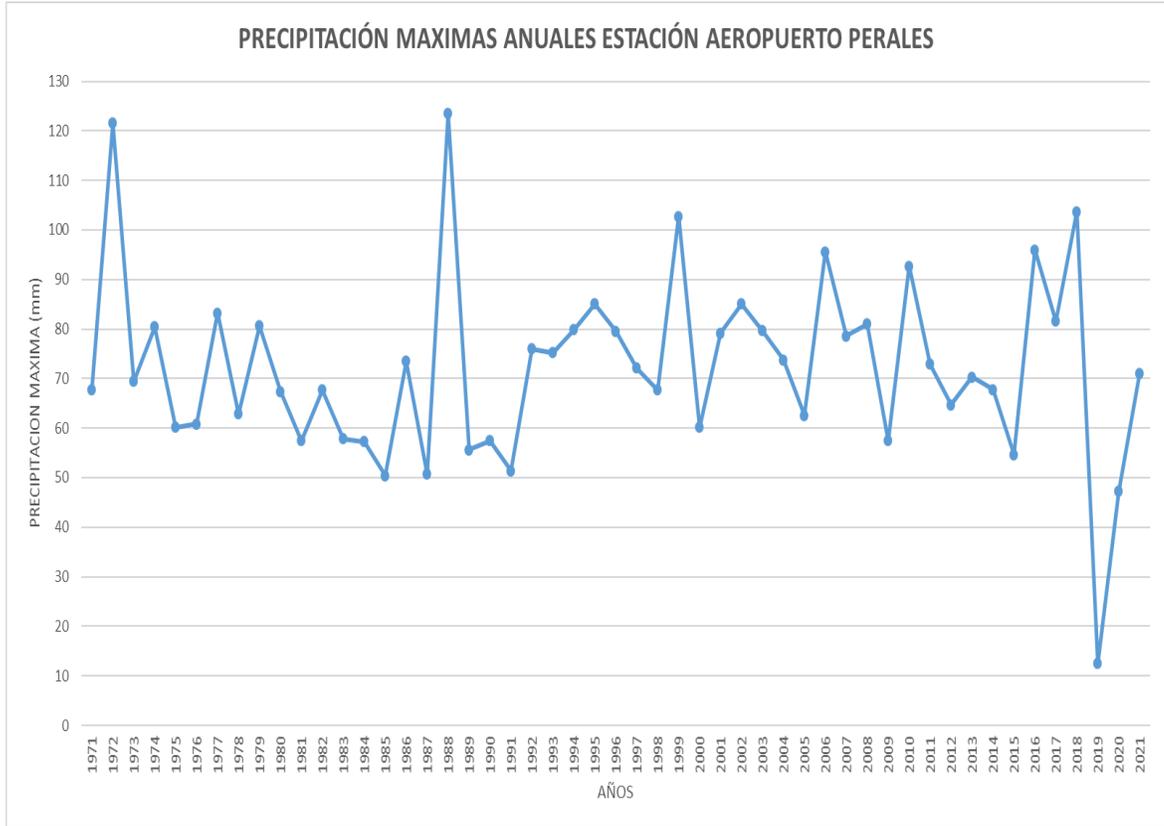
<b>Año</b>	<b>Precipitación Máxima (mm)</b>
1971	67.8
1972	121.6
1973	69.4
1974	80.4
1975	60.2
1976	60.8
1977	83.2
1978	62.9
1979	80.6
1980	67.4
1981	57.5
1982	67.7
1983	57.9
1984	57.3
1985	50.4
1986	73.5
1987	50.7
1988	123.5
1989	55.6
1990	57.5
1991	51.4
1992	76
1993	75.2
1994	79.9
1995	85.1
1996	79.6
1997	72.1
1998	67.7
1999	102.7
2000	60.2
2001	79.2
2002	85.1
2003	79.7
2004	73.8
2005	62.6
2006	95.6

<b>Año</b>	<b>Precipitación Máxima (mm)</b>
2007	78.6
2008	81
2009	57.5
2010	92.7
2011	72.9
2012	64.7
2013	70.3
2014	67.8
2015	54.7
2016	96
2017	81.6
2018	103.7
2019	12.5
2020	47.2
2021	71.1
No. De Datos	51
Media	69.278
Desviación Típica	17.12
Coeficiente de Asimetría	1.2

Fuente: autores.

En la gráfica (2), se evidencia los años con valores de precipitación máximos registrados en el rango de años desde el 1971 hasta el 2021, adicional en el año 2019 registra valores de precipitación muy por debajo de la media geométrica, esto debido a que la estación no contaba con datos continuos y en algunos meses no se procesaron datos pluviométricos, por lo cual afecto el registro de ese año.

Grafica 2. Precipitación máxima anuales.



Fuente: autores.

**7.2.1.1. Cálculo de curvas IDF por Método Simplificado.** Al aplicar la fórmula regionalizada de las curvas IDF para Colombia, y cambiar sus parámetros para la región No. 1 se obtiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{0.94 * T^{0.18} * 69.278^{0.83}}{(t/60)^{0.66}}$$

Al reemplazar los valores del tiempo de retorno (T), y la duración (t) se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 12. Curvas IDF Estación Aeropuerto Perales

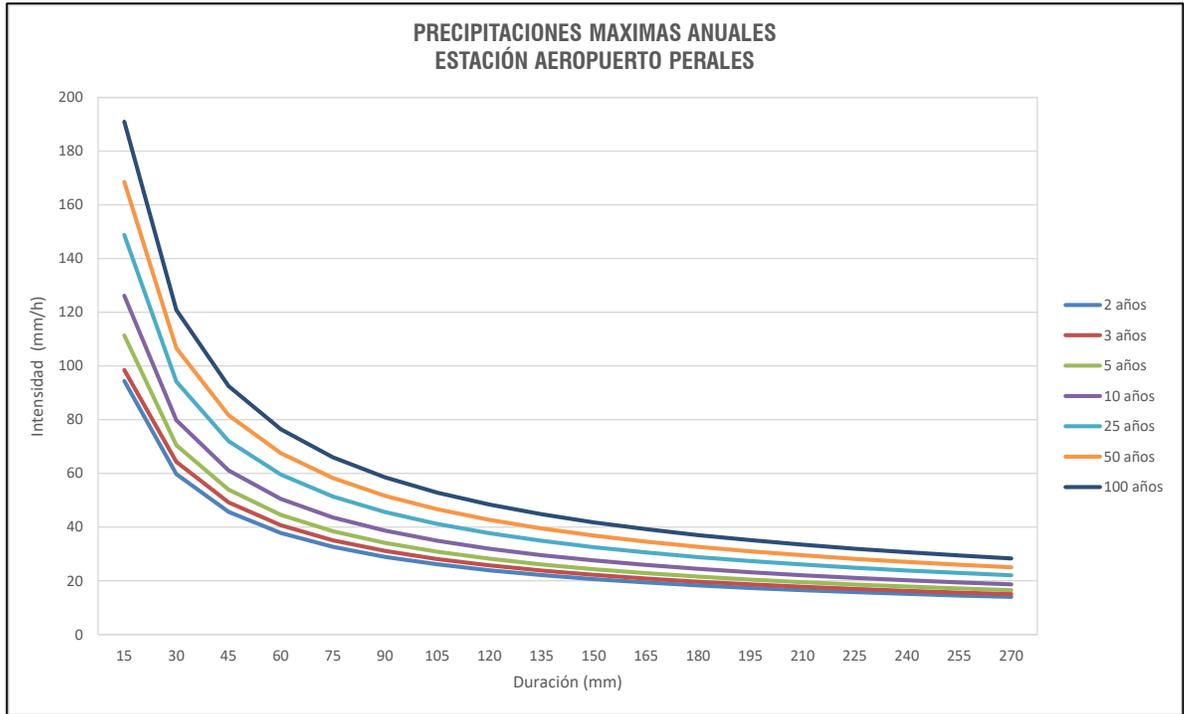
CURVAS IDF ESTACION AEROPUERTO PERALES							
Duración (minutos)	Periodo de Retorno (años)						
	2	3	5	10	25	50	100
10	122.46	131.73	144.42	163.61	192.95	218.59	247.63
20	77.50	83.37	91.40	103.54	122.11	138.34	156.72
30	59.31	63.80	69.94	79.23	93.44	105.86	119.92
40	49.05	52.76	57.84	65.53	77.28	87.55	99.19
50	42.33	45.54	49.92	56.56	66.70	75.56	85.60
60	37.53	40.37	44.26	50.15	59.14	67.00	75.90
70	33.90	36.47	39.98	45.29	53.42	60.51	68.56
80	31.04	33.39	36.61	41.47	48.91	55.41	62.77
90	28.72	30.90	33.87	38.37	45.25	51.27	58.08
100	26.79	28.82	31.60	35.79	42.21	47.82	54.18
110	25.16	27.06	29.67	33.61	39.64	44.91	50.87
120	23.75	25.55	28.01	31.74	37.43	42.40	48.03
130	22.53	24.24	26.57	30.10	35.50	40.22	45.56
140	21.46	23.08	25.30	28.67	33.81	38.30	43.39
150	20.50	22.05	24.18	27.39	32.30	36.59	41.46
160	19.65	21.13	23.17	26.25	30.95	35.07	39.73
170	18.88	20.30	22.26	25.22	29.74	33.69	38.17
180	18.18	19.55	21.44	24.28	28.64	32.44	36.76

Fuente: autores.

En el grafico 3, se evidencia las curvas características para la intensidad, duración, y frecuencia (IDF) de la estación hidrométrica del Aeropuerto Perales de la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, con una duración hasta los 100 años, lo que nos permite determinar una eventualidad pasada de precipitación máxima.

Las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) son un eslabón fundamental para el diseño y la construcción de obras hidráulicas, como drenajes pluviales, presas, embalses y demás, que buscan controlar inundaciones y aprovechar los recursos hídricos para generar energía eléctrica; además, son de gran valor en el estudio de la erosión del suelo, entre otros usos; es por esto que el conocimiento de cómo se construyen las IDF es fundamental. (Acosta Castellanos & Sierra Aponte, 2013)

Grafica 3. Curvas IDF.



Fuente: autores.

**7.2.3. Tiempo de concentración.** Se determina el tiempo de concentración para el área hidrografía de la quebrada la tusa, por los distintos autores que se recomiendan en el manual de drenaje vial.

Tabla 13. Tiempo de concentración en la quebrada la Tusa.

AREA HIDROGRAFIA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			
	KIRPICH	TEMEZ	CUERPO DE INGENIEROS USA	PROMEDIO (HORAS)
La Tusa	0.3868	0.5429	1.215	0.7151

Fuente: autores.

Se evidencia en la tabla 13, los respectivos tiempos de concentración por los distintos autores, en donde se registran los siguientes valores: Kirpich 0.3868, Temez 0.5429 y cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos 1.215. Cabe resaltar, que el promedio de las ecuaciones anteriores da un resultado de 0.7151 horas. Lo que permite determinar el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma.

Por último, al calcular el tiempo de concentración por distintos autores, se promedia y se obtiene un valor en horas, el cual sirve para obtener el tiempo de retraso o Lag time (ver ecuación 8).

$$\begin{aligned} \text{Lag Time} &= 0.7151 * 60 * 0.6 \\ \text{Lag Time} &= 25.745 \end{aligned}$$

**7.2.4. Hietogramas.** son gráficos en los cuales se expresa la precipitación en intervalos de tiempo. Los hietogramas son característicos y representan a una determinada tormenta. Representa la intensidad de lluvia durante todo su tiempo de duración y su uso también radica en los softwares que requieren como sucede o evoluciona la lluvia durante todo su tiempo de duración.

Con el método simplificado, se determinó la ecuación de intensidad de la lluvia expresada en milímetros (mm), la cual nos permite remplazar variables en función de la duración y periodo de retorno de 25 años, con intervalo de tiempo de 5 min (ver tabla 14).

Tabla 14. Hietograma para un periodo de retorno de 25 años.

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS</b>	
<b>Intensidad de lluvia (mm/h)</b>	<b>28.86</b>
<b>Precipitación en 24 horas (mm)</b>	<b>0.00</b>

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	307.19	25.60	25.60	307.19	0.84	10.09
10	194.41	32.40	6.80	81.64	0.87	10.50
15	148.77	37.19	4.79	57.47	0.91	10.95
20	123.04	41.01	3.82	45.86	0.95	11.45
25	106.19	44.25	3.23	38.79	1.00	12.01
30	94.15	47.08	2.83	33.95	1.05	12.65
35	85.04	49.61	2.53	30.40	1.12	13.38
40	77.87	51.91	2.30	27.65	1.19	14.23
45	72.05	54.03	2.12	25.45	1.27	15.23
50	67.21	56.00	1.97	23.65	1.37	16.42
55	63.11	57.85	1.84	22.14	1.49	17.88
60	59.59	59.59	1.74	20.84	1.64	19.73
65	56.52	61.23	1.64	19.73	1.84	22.14
70	53.82	62.79	1.56	18.75	2.12	25.45
75	51.43	64.28	1.49	17.88	2.53	30.40

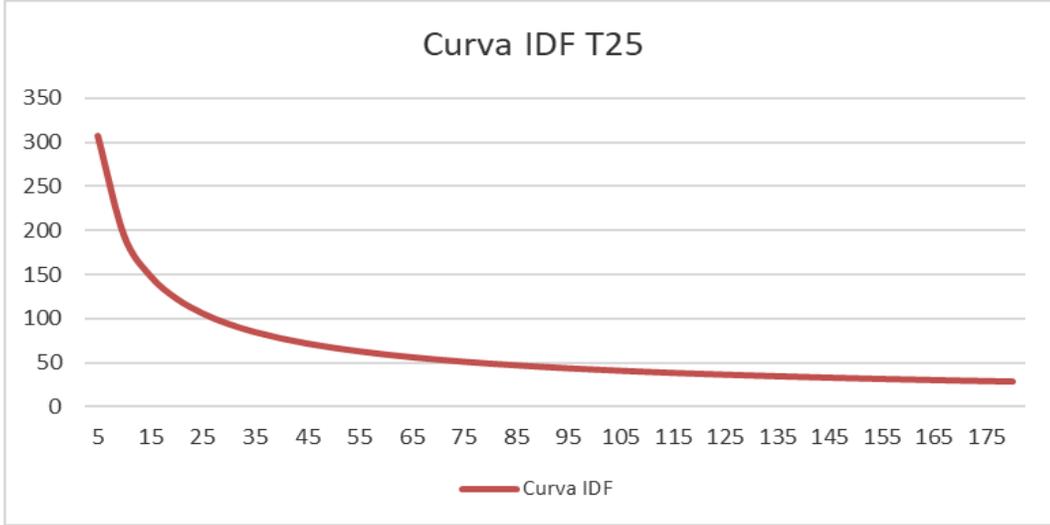


Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
80	49.28	65.71	1.43	17.11	3.23	38.79
85	47.35	67.08	1.37	16.42	4.79	57.47
90	45.60	68.39	1.32	15.80	25.60	307.19
95	44.00	69.66	1.27	15.23	6.80	81.64
100	42.53	70.89	1.23	14.71	3.82	45.86
105	41.19	72.07	1.19	14.23	2.83	33.95
110	39.94	73.22	1.15	13.79	2.30	27.65
115	38.79	74.34	1.12	13.38	1.97	23.65
120	37.71	75.42	1.08	13.00	1.74	20.84
125	36.71	76.48	1.05	12.65	1.56	18.75
130	35.77	77.50	1.03	12.32	1.43	17.11
135	34.89	78.50	1.00	12.01	1.32	15.80
140	34.06	79.48	0.98	11.72	1.23	14.71
145	33.28	80.43	0.95	11.45	1.15	13.79
150	32.55	81.37	0.93	11.19	1.08	13.00
155	31.85	82.28	0.91	10.95	1.03	12.32
160	31.19	83.17	0.89	10.72	0.98	11.72
165	30.56	84.05	0.87	10.50	0.93	11.19
170	29.97	84.90	0.86	10.29	0.89	10.72
175	29.40	85.74	0.84	10.09	0.86	10.29
180	28.86	86.57	0.83	9.90	0.83	9.90

Fuente: autores.

En el gráfico 4, se puede apreciar, la curva de intensidad, duración y frecuencia característica solo para un periodo de retorno de 25 años, esto debido a la infraestructura hidráulica.

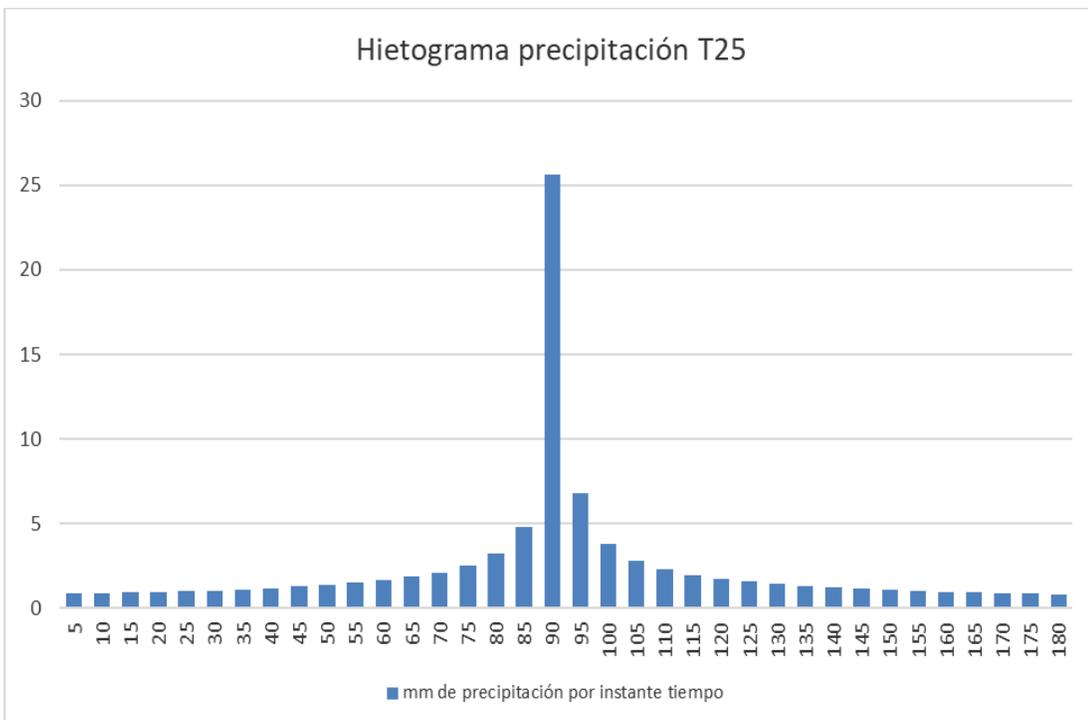
Grafica 4. Curva IDF T25



Fuente: autores.

El hietograma es la forma gráfica de representar la lluvia incremental, por lo tanto, se presenta como un diagrama de barras. Así la grafico 5 muestra una lluvia incremental para un periodo de retorno de 25 años.

Grafica 5. Hietograma Precipitación T25

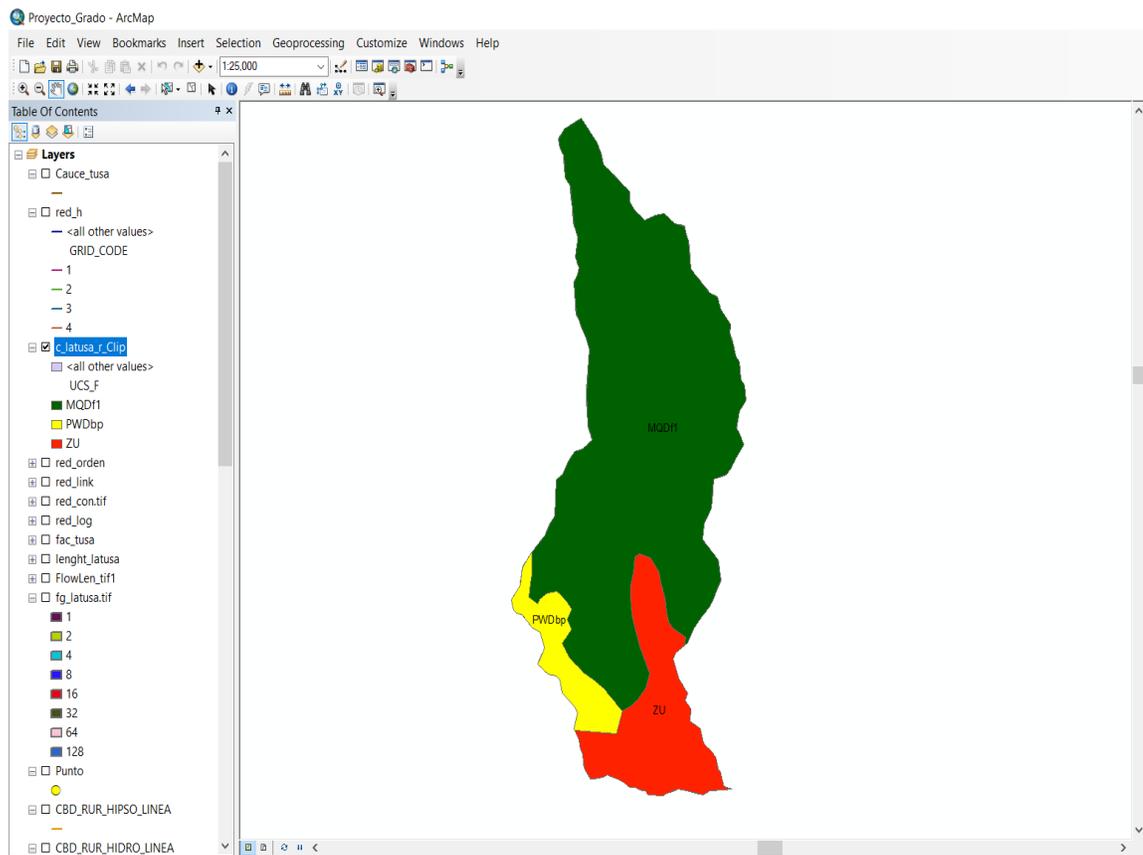


Fuente: autores.

**7.2.5. Numero de Curvas (CN).** Para obtener el número de curvas (CN), fue necesario importar el mapa de suelos del Tolima, con el fin de realizar el respectivo análisis en el software ArcGis, de esta manera se determinó los tipos de suelo en el área de la hoya hidrográfica.

Los levantamientos agrológicos de tipo general se orientan a proporcionar información del recurso suelo para apoyar los procesos de planificación y ordenamiento territorial, análisis de las cuencas hidrográficas, amenazas naturales, con el propósito que las tierras tengan el uso y manejo adecuado, sin riesgo de deteriorar los recursos naturales disponibles y con el criterio de sostenibilidad. (IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018)

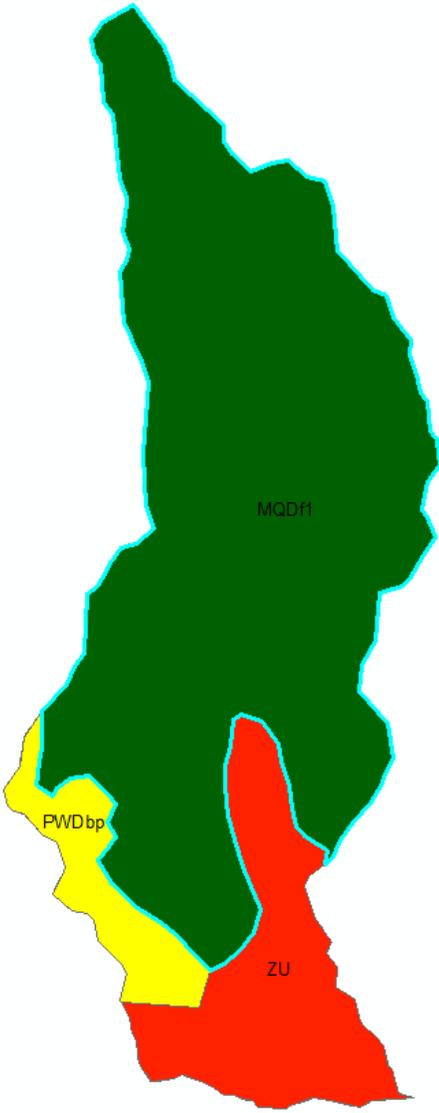
Ilustración 25. Mapa de suelos en el Tolima



Fuente: autores.

Como se tiene en la cuenca de estudio, tres tipos de suelo se analiza cada uno de manera independiente, como se evidencia a continuación:

Tabla 15. Tipo de suelo en la hoya hidrográfica.

 <p>El mapa muestra la distribución de tres tipos de suelo en una zona hidrográfica. La mayor parte del área está cubierta por el tipo MQDf1 (verde), que ocupa la zona superior y central. Una franja amarilla (PWDbp) se encuentra en la parte inferior izquierda, y una zona roja (ZU) está ubicada en la parte inferior derecha.</p>	<p><b>MQDf1:</b> pendiente 50- 75%, erosión ligera (Subclase VIII, por su capacidad de uso), con área de 12.516,81ha, en la parte baja del R. Combeima y alta de los R. Gallego y Cócora.</p> <p>Característica: Moderadamente profundos, bien drenados, ligeramente ácidos, de texturas medianas a gruesas, muy ricos en bases y de fertilidad moderada</p> <p>Litología: Tonalitas y granodioritas (Batolito de Ibagué)</p>	<p>Suelo Grupo I (A): Son los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprende terrenos que se caracterizan por ser profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo y arcilla. Son los suelos que producen menor escorrentía.</p>
	<p><b>PWDbp:</b> pendientes 3-7%, erosión ligera. (Subclase IIIs, por su capacidad de uso).</p> <p>Característica: Moderadamente profundos, bien drenados, de texturas variables, de reacción ácida a neutra y de fertilidad moderada</p> <p>Litología: Flujos de lodo, aglomerados y aluviones</p>	<p>Suelo Grupo II (B): Comprende terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo I, otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos. Incluye suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados.</p>
	<p>Zu: Zona Urbana.</p>	

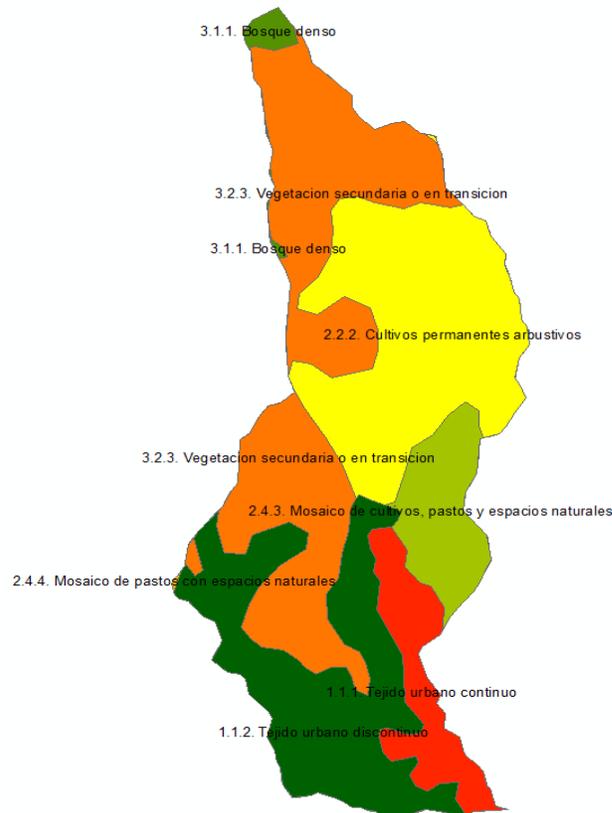
Fuente: autores.

De la tabla 15, se evidencia, que más del 50% del área de la hoya hidrografía en estudio, posee un tipo de suelo característico por ser profundos, sueltos, con

predominio de arena o grava y con muy poco limo y arcilla. Son los suelos que producen menor escorrentía. Adicional en un porcentaje menor del 25% es un tipo de suelo urbana, con modificación en la estratificación suelos con mejoramiento en la capa de rodadura y rellenos en materiales seleccionados.

En la ilustración 26, se evidencia el mapa de cobertura de la superficie, que se importó al modelo en ArcGis, para el respectivo análisis en la hoya hidrográfica.

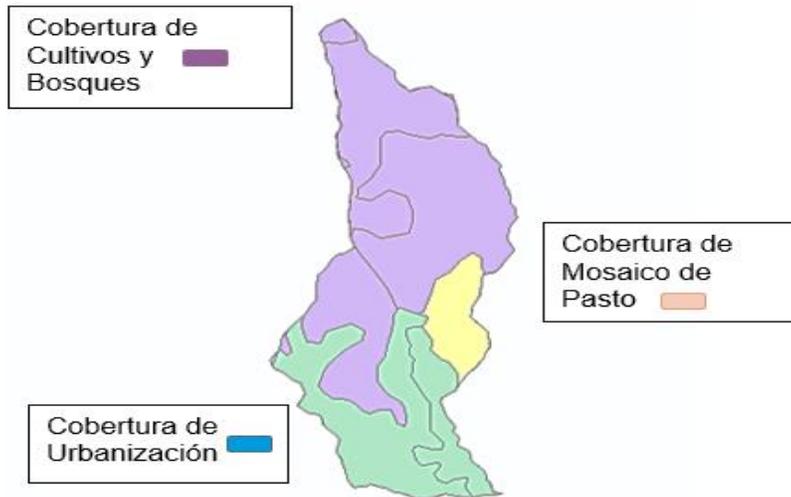
Ilustración 26. Mapa de cobertura superficie.



Fuente: autores.

Se evidencia en la ilustración 27, que más del 50% del área de la hoya hidrográfica tiene una cobertura de cultivos y bosques, que un 25% del área es cobertura urbanística con calles pavimentadas y cambio al paisajismo. Por último, se tiene un pequeño porcentaje de mosaico de pastos.

Ilustración 27. Condensación del mapa de cobertura.



Fuente: autores.

Se evidencio anteriormente, que existen tres (3) tipo de cobertura en el área total de la cuenca, adicional con el mapa de suelo se determinó su respectiva clasificación, por ende, se determina el área efectiva para cada cobertura y tipo de suelo y su número de curva (CN) que se obtiene de la tabla 6, con la finalidad, de definir un único valor de CN el cual es de 67.34 valor adimensional para la totalidad de la hoya hidrográfica. (ver tabla 16)

Tabla 16. Numero de curvas (CN)

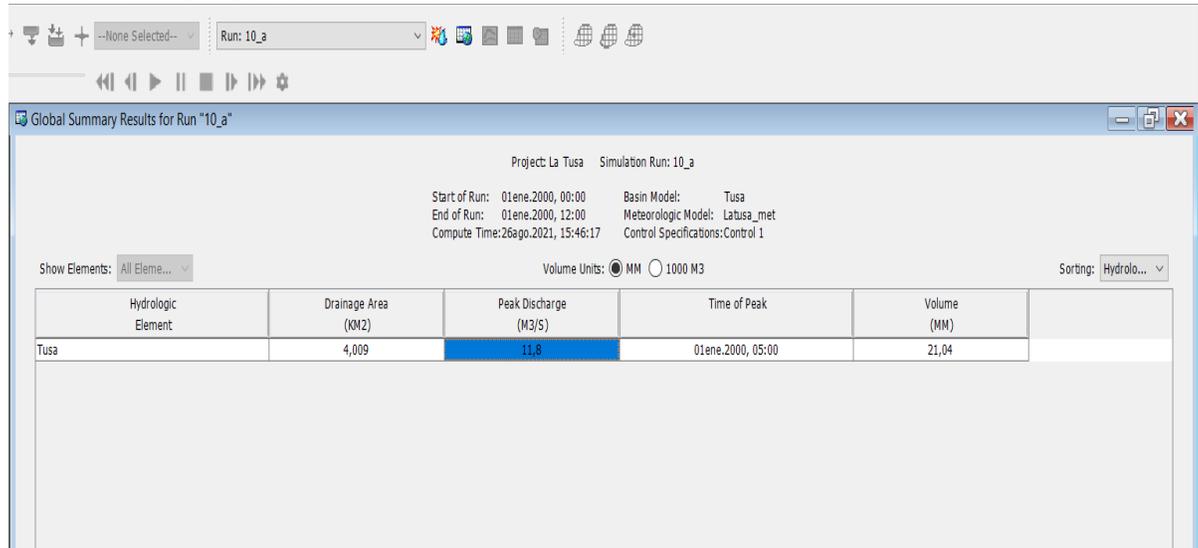
Cobertura	Tipo de Suelo	NC	Área	NC*A
Mosaico de Pastos	I (A)	45	32.31	1454.06
Cultivos y Bosque	I (A)	67	247.66	16593.49
Urbanístico	II (B)	74	121.01	8954.61
TOTAL $\Sigma$			400.98	27002.15
<b>NUMERO DE CURVAS</b>				<b>67.34</b>

Fuente: autores.

**7.2.6. Caudal Máximo.** Se obtiene en la modelación computacional con el software HEC-HMS, en donde se debe ingresar el área de la hoya hidrografía calculada en los parámetros morfométricos, el hietrograma para un periodo de retorno de 25 años y el número de curva (CN).

En la ilustración 28, se evidencia el caudal máximo en la cuenca de estudio el cual es de 11.8 m<sup>3</sup>/s, es importante resaltar, que ese caudal máximo es para un periodo de retorno u ocurrencia a 25 años.

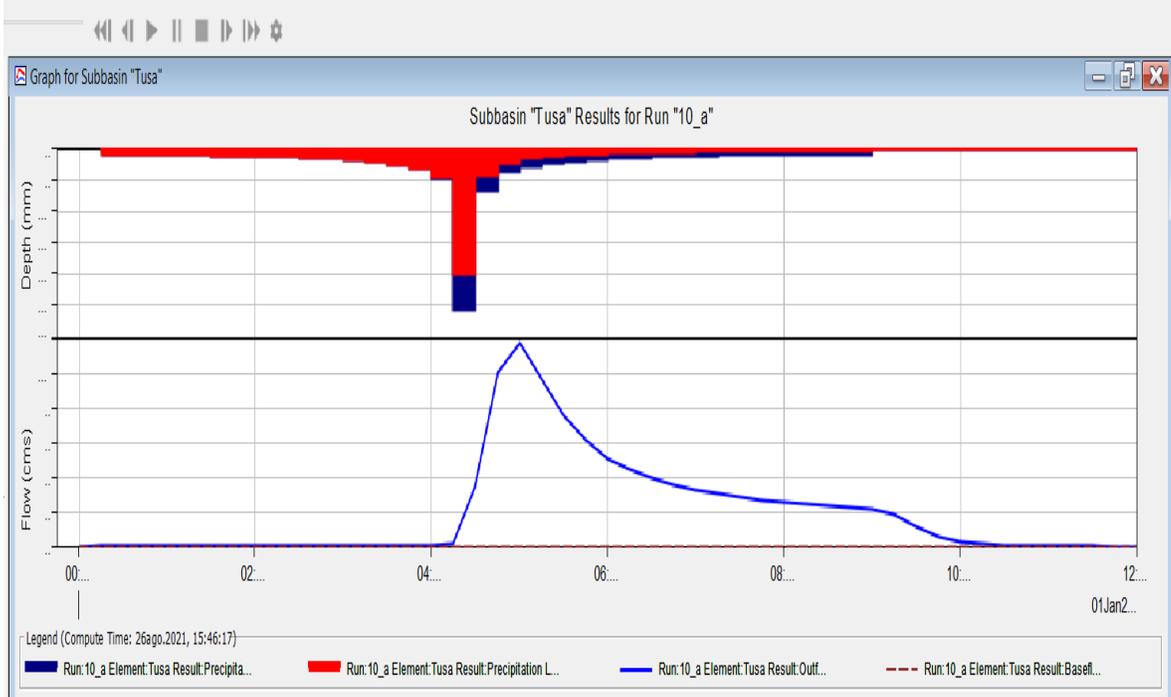
Ilustración 28. Caudal Máximo.



Fuente: autores.

El caudal pico es el caudal máximo que se va a presentar en la cuenca. Adicional en la gráfica superior, se evidencia el hietograma de precipitación para un periodo de retorno de 25 años y en el gráfico inferior, se evidencia el máximo pico que alcanza la corriente cuando este drenando todo el volumen hacia el cauce principal. (ver gráfico 6)

Grafica 6. Resultados de la Modelación en HEC-HMS



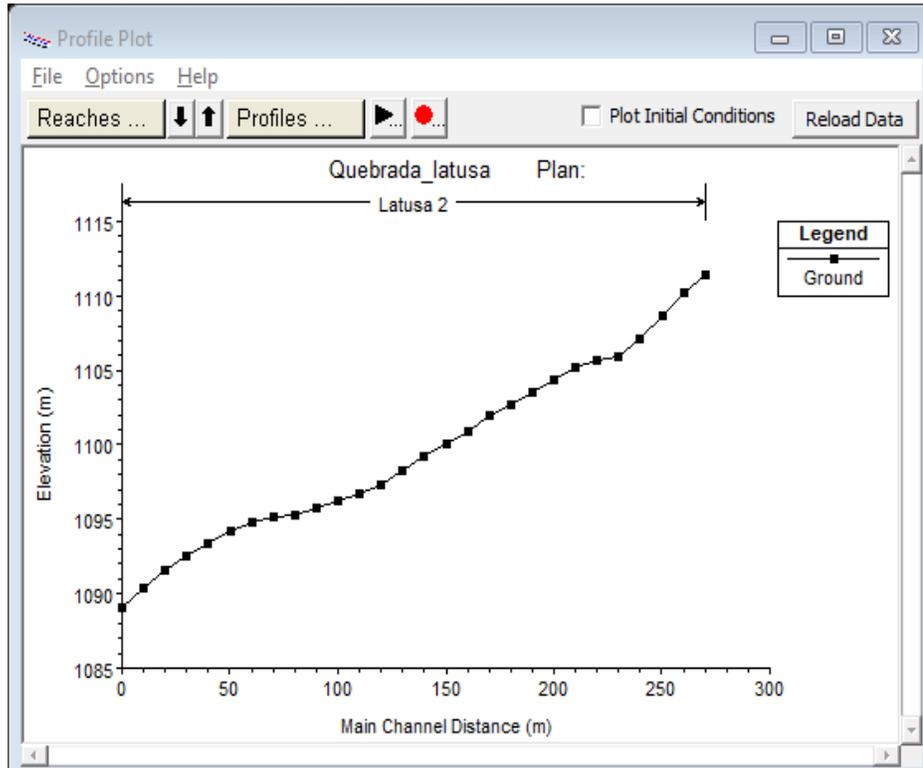
Fuente: autores.

### 7.3. ANÁLISIS HIDRÁULICO.

Su finalidad es el diseño de estructuras de capacidad apropiada utilizando los caudales generados en el estudio hidrológico. Las estructuras pueden ser de desvío, control, protección, remoción o de cruce bajo una vía. (Roshan Pastel, 2019)

**7.3.1. Perfiles longitudinales.** Para el análisis hidráulico, se realizó la batimetría de la quebrada la tusa, en donde se determinó su geometría que se evidencias en cortes cada 20m, Adicional se obtuvo la pendiente del cauce principal. (ver ilustración 29)

Ilustración 29. Pendiente del cauce

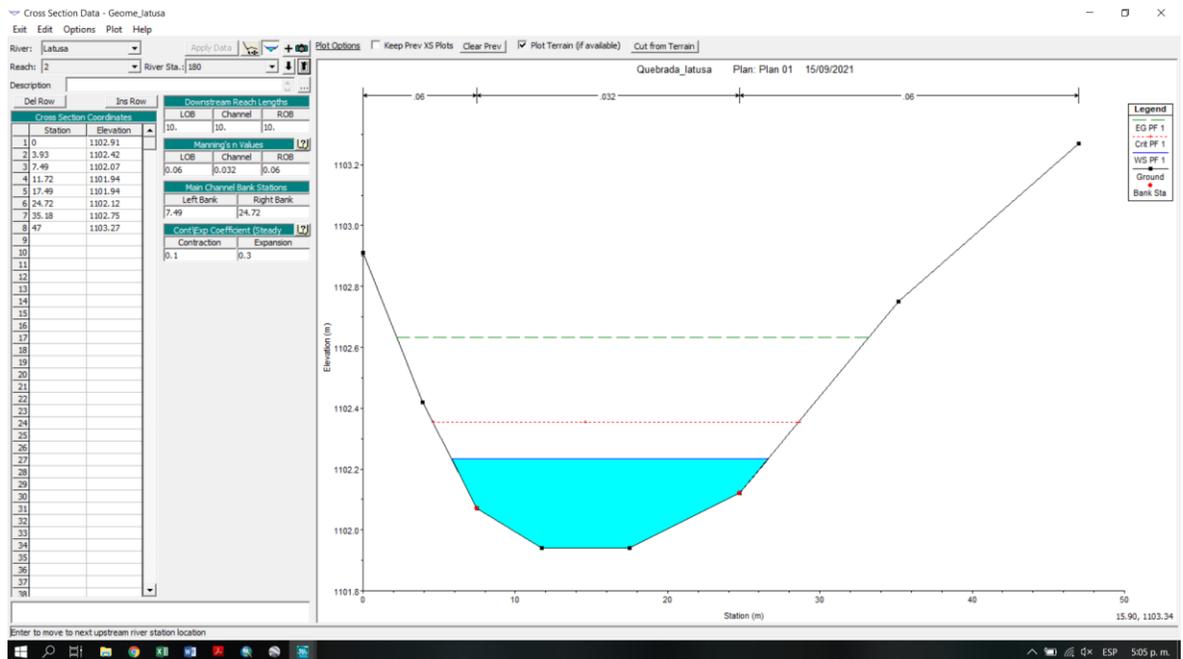


Fuente: autores.

**7.3.2. Cota máxima de la lámina de agua.** El cálculo de la cota máxima de inundación e involucrado en el diseño de una alcantarilla tipo cajón o un Box Culvert, nos permite determinar la altura máxima que se puede presentar para una intensidad de precipitación, intensa con duración prolongada, se debe modelar la peor eventualidad que se tenga registro, para poder determinar si en la zona de estudio la cual se ubica en la comuna 6 del barrio Ecoparaiso en la ciudad de Ibagué es vulnerable a posibles eventos de inundaciones.

Para determinar la cota máxima que se puede presentar en una eventualidad u ocurrencia entre en un periodo de tiempo de 25 años, se utilizó el software HEC-RAS, el cual analiza la batimetría de la quebrada con respecto a la geometría, se le ingresa los respectivos coeficientes de Manning según el tipo de material identificado In-Situ, la pendiente el cauce y por último se debe ingresar el caudal máximo registrado.

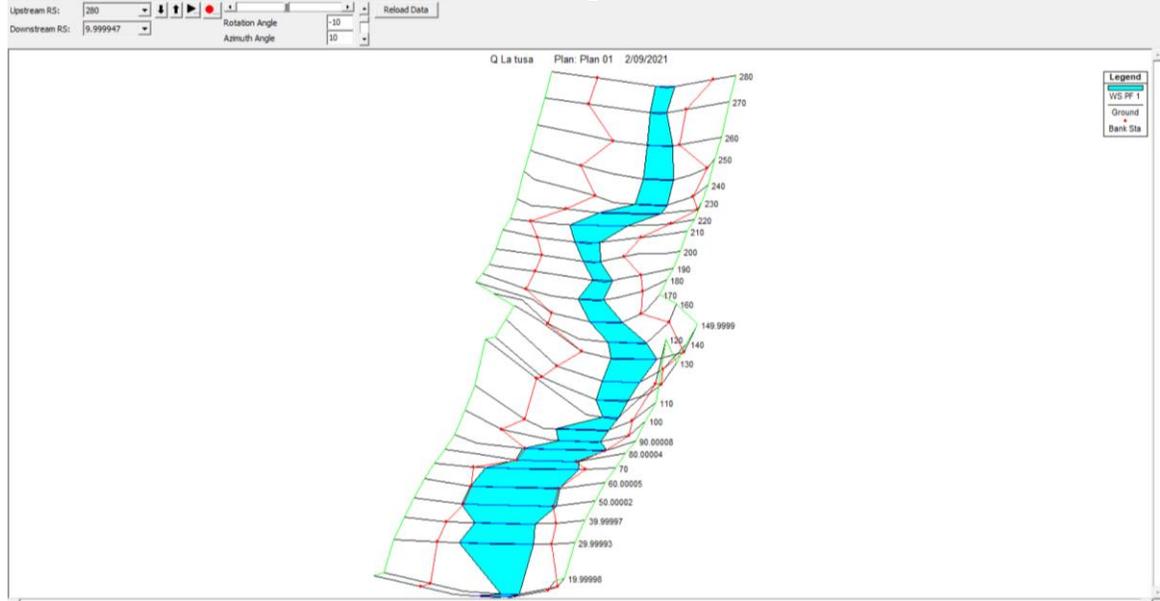
Ilustración 30. Simulación en HEC-RAS Perfiles Longitudinales.



Fuente: autores.

Se evidencia en la ilustración 30, la altura máxima de la lámina de agua en el corte longitud correspondiente al punto de intersección entre la quebrada la tusa, con la única vía de acceso al barrio Ecoparaiso, el cual se propone la intervención oportuna con una obra hidráulica tipo box culvert.

Ilustración 31. Vista tridimensional del segmento de la cuenca.



Fuente: autores.

En la ilustración 31, se evidencia una vista tridimensional (3D), de la respectiva batimetría del segmento aguas arriba y aguas abajo del punto a intervenir, adicional el comportamiento de la lámina de agua máxima sobre el ancho total del río.

Una vez, se corre el modelo en HEC-RAS, se obtiene la respectiva información de cada corte realizado, la abscisa correspondiente, el caudal máximo que transporta por la sección, la altura máxima, mínima, crítica, la velocidad en cada sección, su área y el número de Froude. (ver tabla 17)

Tabla 17. Altura máxima de la lámina de agua en HEC-RAS.

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Latusa Reach: 2 Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
2	280	PF 1	11.80	1111.42	1111.72	1111.91	1112.63	0.230285	4.22	2.80	18.74	3.49
2	270	PF 1	11.80	1110.22	1110.56	1110.70	1111.07	0.098292	3.16	3.81	22.38	2.36
2	260	PF 1	11.80	1108.69	1108.91	1109.11	1109.76	0.170781	4.15	3.10	20.83	3.11
2	250	PF 1	11.80	1107.09	1107.32	1107.48	1107.99	0.173922	3.63	3.26	22.48	3.02
2	240	PF 1	11.80	1105.91	1106.15	1106.28	1106.61	0.102573	3.02	3.92	24.19	2.37
2	230	PF 1	11.80	1105.66	1105.90	1105.94	1106.06	0.026209	1.80	6.97	38.33	1.25
2	220	PF 1	11.80	1105.18	1105.37	1105.45	1105.64	0.070683	2.33	5.13	37.16	1.93
2	210	PF 1	11.80	1104.34	1104.56	1104.67	1104.92	0.072648	2.64	4.51	27.58	2.01
2	200	PF 1	11.80	1103.54	1103.81	1103.93	1104.19	0.072932	2.73	4.32	23.49	2.03
2	190	PF 1	11.80	1102.74	1102.96	1103.07	1103.35	0.098078	2.76	4.27	28.52	2.28
2	180	PF 1	11.80	1101.94	1102.23	1102.36	1102.63	0.054304	2.81	4.38	20.79	1.83
2	170	PF 1	11.80	1100.86	1101.13	1101.30	1101.80	0.131941	3.62	3.26	18.11	2.72
2	160	PF 1	11.80	1100.03	1100.41	1100.53	1100.81	0.066543	2.80	4.22	20.81	1.98
2	149.9999	PF 1	11.80	1099.25	1099.56	1099.71	1100.08	0.077377	3.21	3.68	16.40	2.16
2	140	PF 1	11.80	1098.22	1098.64	1098.80	1099.22	0.094874	3.38	3.49	16.75	2.36
2	130	PF 1	11.80	1097.29	1097.79	1097.99	1098.44	0.064018	3.58	3.30	10.77	2.06
2	120	PF 1	11.80	1096.66	1097.04	1097.22	1097.67	0.091785	3.52	3.35	14.74	2.36
2	110	PF 1	11.80	1096.22	1096.64	1096.73	1096.95	0.045810	2.45	4.81	21.64	1.66
2	100	PF 1	11.80	1095.77	1096.11	1096.20	1096.42	0.061561	2.48	4.77	26.86	1.86
2	90.00008	PF 1	11.80	1095.31	1095.64	1095.70	1095.87	0.045344	2.14	5.53	31.32	1.60
2	80.00004	PF 1	11.80	1095.10	1095.41	1095.43	1095.55	0.019999	1.71	7.42	36.07	1.11
2	70	PF 1	11.80	1094.83	1095.12	1095.17	1095.32	0.026795	2.04	6.95	36.76	1.30
2	60.00005	PF 1	11.80	1094.18	1094.34	1094.47	1094.80	0.114562	3.12	4.36	32.62	2.49
2	50.00002	PF 1	11.80	1093.34	1093.54	1093.64	1093.89	0.069944	2.69	5.03	32.25	1.99
2	39.99997	PF 1	11.80	1092.50	1092.69	1092.79	1093.07	0.095700	2.76	4.53	33.18	2.26
2	29.99993	PF 1	11.80	1091.52	1091.73	1091.82	1092.06	0.102179	2.56	4.66	37.78	2.27
2	19.99998	PF 1	11.80	1090.33	1090.49	1090.61	1090.94	0.122009	3.08	4.42	35.30	2.54
2	9.999947	PF 1	11.80	1089.09	1089.30	1089.43	1089.77	0.111267	3.03	3.90	24.89	2.44

Fuente: autores.

De la tabla 17, se evidencia en la sección con abscisa 180 correspondiente al punto a intervenir por la obra hidráulica, una altura máxima de la lámina de agua igual 1102.36 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y una altura mínima de 1101.94 m.s.n.m.

Adicional, se presenta un análisis completo en la sección en donde se evidencia altura mínima y máxima de la lámina de agua, el caudal máximo, la velocidad en la sección la cual tiene un valor de 2.69 m/s y el área. (ver tabla 18)

Tabla 18. Resumen de resultados sección 180.

Plan: Plan 01 Latusa 2 RS: 180 Profile: PF 1					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E.G. Elev (m)	1102.63				
Vel Head (m)	0.40				
W.S. Elev (m)	1102.23				
Crit W.S. (m)	1102.36				
E.G. Slope (m/m)	0.054304				
Q Total (m3/s)	11.80				
Top Width (m)	20.79				
Vel Total (m/s)	2.69				
Max Chl Dpth (m)	0.29				
Conv. Total (m3/s)	50.6				
Length Wtd. (m)	10.00				
Min Ch El (m)	1101.94				
Alpha	1.08				
Frctn Loss (m)	0.81				
C & E Loss (m)	0.03				
Element					
Wt. n-Val.	0.060	0.032	0.060		
Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00		
Flow Area (m2)	0.14	4.14	0.11		
Area (m2)	0.14	4.14	0.11		
Flow (m3/s)	0.10	11.64	0.06		
Top Width (m)	1.67	17.23	1.89		
Avg. Vel. (m/s)	0.73	2.81	0.57		
Hydr. Depth (m)	0.08	0.24	0.06		
Conv. (m3/s)	0.4	49.9	0.3		
Wetted Per. (m)	1.67	17.23	1.90		
Shear (N/m2)	43.44	127.85	30.30		
Stream Power (N/m s)	31.73	359.62	17.41		
Cum Volume (1000 m3)	0.02	0.72	0.03		
Cum SA (1000 m2)	0.30	3.75	0.38		

**Errors, Warnings and Notes**

**Warning:** The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m). between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Select Profile

Fuente: autores.

**7.3.2.1. Galibo.** El galibo es la menor distancia entre la lámina de agua correspondiente al caudal de diseño y el canto inferior de las vigas del puente. El Manual de diseño geométrico del INVIAS (referencia 4.12), recomienda valores de Galibo. Por ende, se tomó un valor mínimo de dos puntos cinco metros (2.50m) esto debido a la premisa de que sobre la corriente de agua que en algunos períodos transportan desechos, roncós y otros objetos voluminosos.

**7.3.2.2. Dimensiones del Box Culvert.** Con la finalidad de determinar las dimensiones apropiadas para el Box Culvert, de tal manera que cumpla con el caudal máximo y respectivamente la altura máxima de lámina de agua con un galibo de dos puntos cinco metros (2.50m), se utilizó el software HY8 para el análisis hidráulico.

En el software HY8, se consigna datos de caudal mínimo, medio y máximo; aguas abajo se debe ingresar el perfil longitudinal correspondiente al corte, debido a que

el canal no se encuentra revestado, se deberá ingresar datos de altimetría, coeficiente de manning para el concreto y las respectivas dimensiones de alto y ancho del box culvert. (ver ilustración 32)

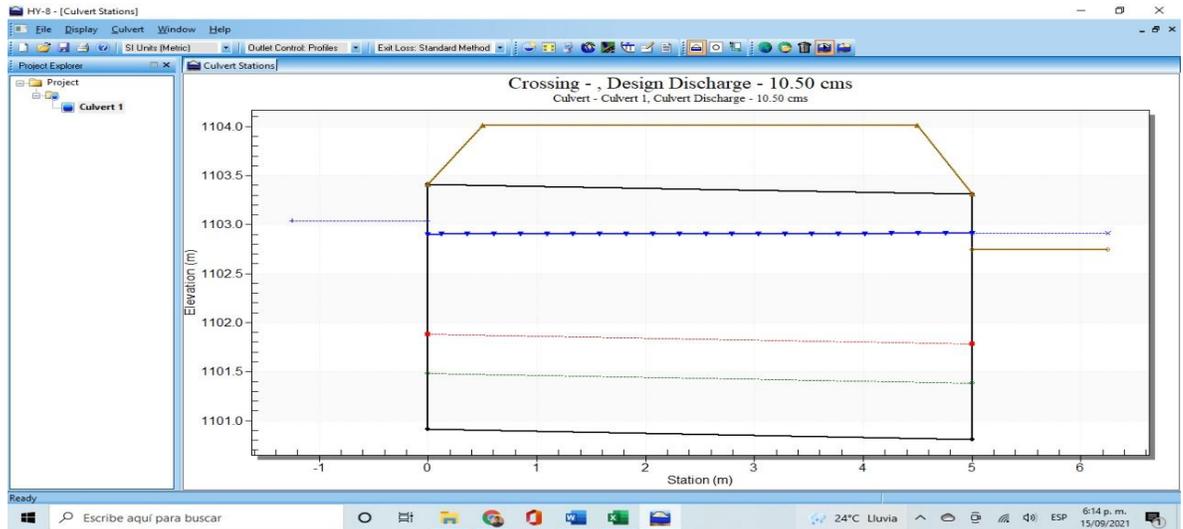
Ilustración 32. Datos de entrada para la modelación en HY8

The image shows two dialog boxes from the HY8 software. The 'Crossing Properties' dialog on the left has a 'Name' field and three main sections: 'DISCHARGE DATA' with parameters for Minimum, Design, and Maximum Flow (all in cms); 'TAILWATER DATA' with parameters for Channel Type (Irregular Channel), Irregular Channel (Define...), and Rating Curve (View...); and 'ROADWAY DATA' with parameters for Roadway Profile Shape (Constant Roadway Elevation), First Roadway Station (0.000 m), Crest Length (5.000 m), Crest Elevation (1104.010 m), Roadway Surface (Gravel), and Top Width (4.000 m). The 'Culvert Properties' dialog on the right is for 'Culvert 1' and includes buttons for 'Add Culvert', 'Duplicate Culvert', and 'Delete Culvert'. It has a table with parameters: Shape (Concrete Box), Material (Concrete), Span (3500.000 mm), Rise (2500.000 mm), Embedment Depth (0.000 mm), Manning's n (0.016), Culvert Type (Straight), Inlet Configuration (1:1 Bevel (45° flare) Wingwall), Inlet Depression? (No), and a 'SITE DATA' section with Site Data Input Option (Culvert Invert Data), Inlet Station (0.000 m), Inlet Elevation (1100.910 m), Outlet Station (5.000 m), Outlet Elevation (1100.810 m), and Number of Barrels (1). At the bottom are buttons for Help, Low Flow, AOP, Energy Dissipation, Analyze Crossing, OK, and Cancel.

Fuente: autores.

Es importante resaltar, que solo se varió el ancho del Box Culvert debido a que la altura o profundidad, se determinó al tener en cuenta la altura máxima de la lámina de agua en la modelación de HEC-RAS y el Galibo según lo expuesto por el manual de drenaje vial.

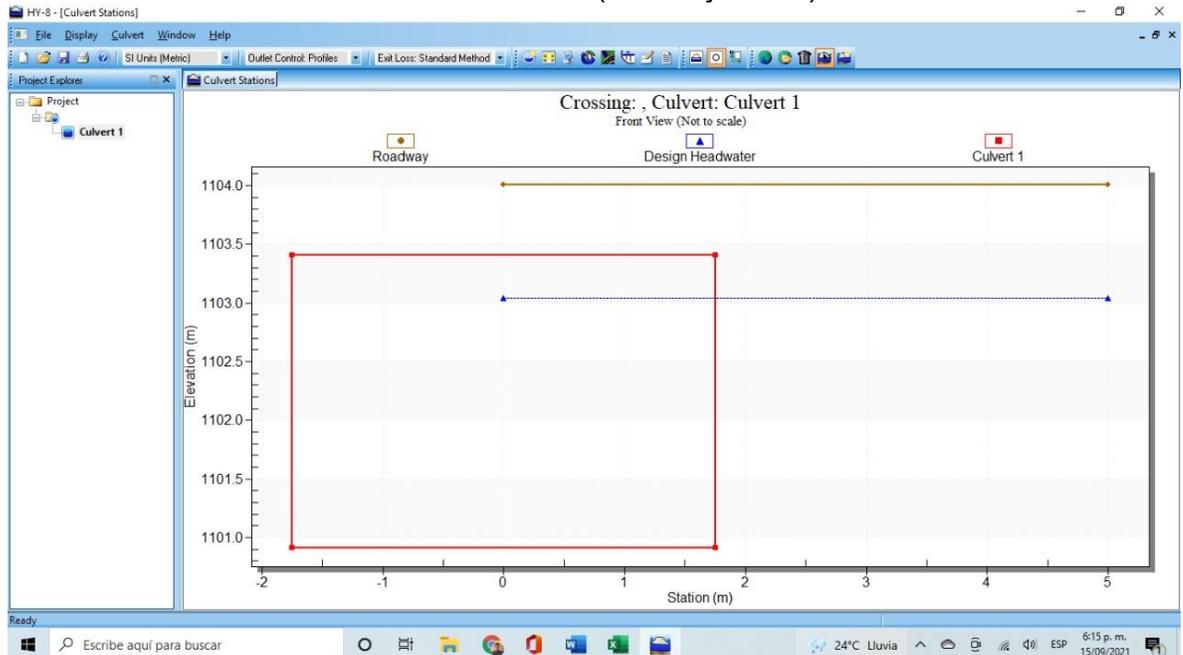
Ilustración 33. Corte con vista del ancho de la vía y altura.



Fuente: autores.

De la ilustración 33, se evidencia la modelación en el software HY8, en donde se presenta las líneas de la lámina de agua mínima, media y máxima que puede alcanzar en eventualidad poco favorables, adicional la pendiente que debe tener el box culvert para garantizar la escorrentía y continuidad del flujo. Por ende, se adoptaron unas dimensiones de 3.5mts ancho y 2.5mts alto. (ver ilustración 34)

Ilustración 34. Vista de frente Box culvert (Ancho y altura).



Fuente: autores.

## 7.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

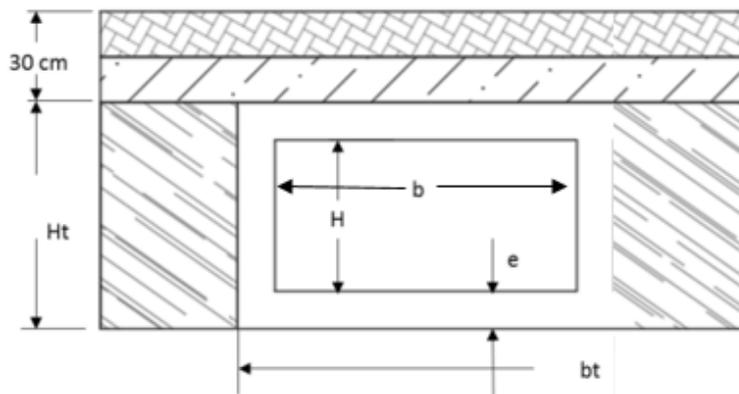
Las estructuras enterradas se deberán diseñar para las solicitaciones resultantes de los empujes horizontales y verticales del suelo, la carga del pavimento, la sobrecarga y el incremento por carga dinámica. (sección 12.6, CCP 14)

Datos:

Resistencia a la compresión del concreto:  $F'_c = 21 \text{ MPa}$

Resistencia a la Fluencia del Acero  $F'_y = 420 \text{ MPa}$

Ilustración 35. Geometría del Box Culvert.



Fuente: autores.

Datos de la geometría de la sección.

Alto (H)=2.5m

Ancho (B)=3.5m

E: 0.35m (Espesor de las paredes del Box Culvert)

Largo del Box Culvert: 5m

HT=H+(2\*e)=3.2m (alto total del Box Culvert)

BT=B+(2\*e)= 4.2. (ancho total del box culvert)

**7.4.1. Cargas vivas, muertas e Impacto.** Se calcula las cargas muertas siendo la primera la presión Vertical del Terreno, se Calcula previamente el factor  $F_e$  para tener en cuenta la interacción suelo-estructura:

Ecuación 10. Factor  $F_e$

$$F_e = 1 + 0.20 \frac{H}{B_c}$$

$$F_e = 1 + 0.20 \frac{0.30m}{3.35m} = 1.0179 \leq 1.15$$

Para la determinar la presión del terreno, es necesario conocer el peso específico del tipo de suelo identificado en el punto de estudio (ver ilustración 36).

Ilustración 36. Peso Específico del tipo de suelo.

Material	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )
Tierra saturada	2100
Arena seca	1600
<b>Arena húmeda</b>	<b>1860</b>
Arena saturada	2100

Fuente: (Clavijo Gomez & Ramirez Fonseca, 2018)

En campo se evidencio, que el tipo de suelo identificado fue una arena húmeda, la cual tiene un peso específico de 1860 Kg/m<sup>3</sup>. Adicional con la interacción suelo estructura factor  $F_e$  y el peso específico del suelo y aplicando la ecuación 11, se calcula la presión vertical.

Ecuación 11. Presión vertical.

$$EV = (F_c * \gamma * H) + (\gamma_{Placa\ huella} * H_{Placa\ huella})$$

$$EV = (1.07 * 18.6 \frac{KN}{m^3} * 0.30m) + (24 \frac{Kn}{m^3} * 0.35) = 14.37 kN/m^2$$

Ilustración 37. Presión Vertical



Fuente: autores.

La densidad del suelo de relleno se ha considerado igual a 1.86 KN/m<sup>3</sup> teniendo en cuenta que es un material seleccionado y compactado de arena húmeda. Las reacciones del suelo a las cargas verticales aplicadas a la alcantarilla se consideran uniformemente distribuidas en el fondo de la losa.

**Empuje horizontal del Terreno  $E_h$ .** La teoría de Rankine (ver ecuación 12) propone el cálculo de un coeficiente de empuje lateral activo con el uso del ángulo de fricción interna  $\Phi$ . El ángulo de fricción identificado según el tipo de suelo es de 25°, lo cual indica la resistencia interna del suelo.

Ecuación 12. Teoría de Rankine

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{25^\circ}{2} \right) = 0.405$$

Esfuerzo en la zona superior e inferior del muro por presión lateral del terreno

Ecuación 13. Presión Horizontal.

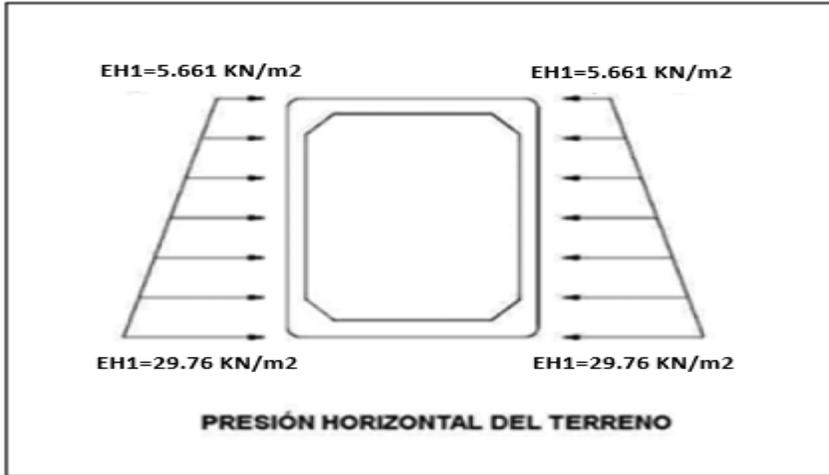
$$Eh_{sup} = K_a * (\gamma_{Suelo} * H_{suelo} + \gamma_{Placa huella} * H_{placa huella})$$

$$Eh_{sup} = 0.405 * \left( 18.6 \frac{KN}{m^3} * 0.30m + 24 \frac{KN}{m^3} * 0.35m \right) \rightarrow 5.661 KN/m^2$$

$$Eh_{inf} = K_a * (\gamma_{Suelo} * H_{Suelo+box} + \gamma_{Placa huella} * H_{placa huella})$$

$$Eh_{inf} = 0.405 * \left( 18.6 \frac{KN}{m^3} * 3.5m + 24 \frac{KN}{m^3} * 0.35m \right) \rightarrow 29.76 KN/m^2$$

Ilustración 38. Presión horizontal del terreno.



Fuente: autores.

**Carga Viva e Impacto.** El factor de carga dinámica (IM) para el caso de elementos enterrados que propone la norma AASHTO (3.6.1.3.3, AASHTO LRFD) es:

$$IM = 33 (1 - 0.41 D_e)$$

$$IM = 33 (1 - 0.41 (0.30m))$$

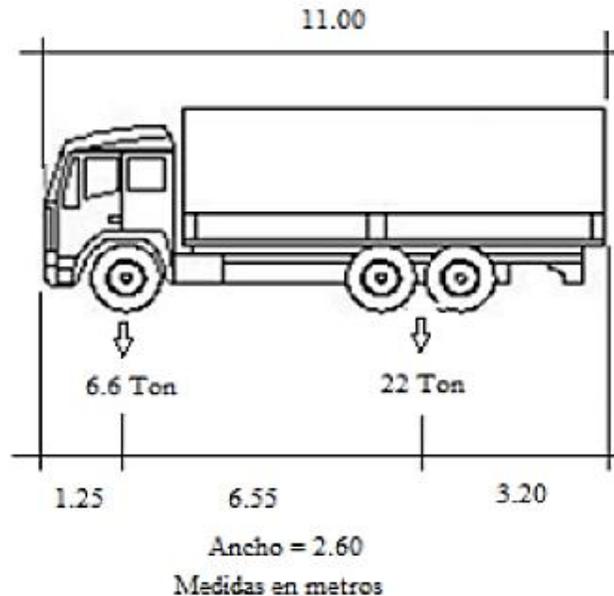
$$IM = 28.94\%$$

Donde

De es el espesor del relleno por encima del box culvert

El Art. 3.6.1.2.6 AASHTO-LRFD indica que si la profundidad del relleno es menor que 0.60m, la sobrecarga se analiza con anchos de franja equivalente, se tomara la configuración del eje tándem del camión C3 que consiste en dos ejes cargados con 110KN espaciados a 1.2m

Ilustración 39. Camión de diseño C3



Fuente: autores.

La carga distribuida equivalente está unida a un eje transversal de cargas concentradas con el propósito de modelar el efecto de un congestionamiento vehicular sobre el box, para determinar la carga viva, se usa factores de presencia múltiple (MPF). Un solo carril cargado con un MPF es de 1.20 AASHTO (1996).

Ecuación 14. Carga por eje

$$P_{lanta} = p * (1 + im)$$

$$Peje = 55KN * (1 + 0.29) = 70.95 KN$$

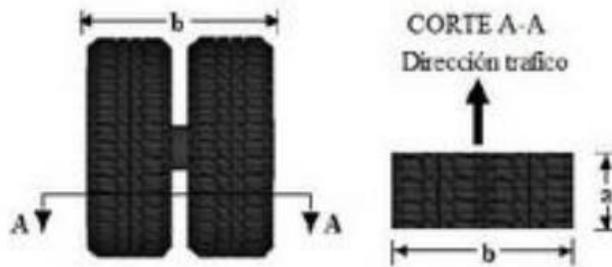
Dimensiones de las áreas de propagación de esfuerzo neumático-pavimento. ver tabla 19, la cual determinar el ancho de contacto entre el neumático y la capa de rodadura pavimento.

Tabla 19. Ancho de contacto y el pavimento.

Camión de diseño	Rueda simple (m)	
	a	B
C3	0,2	0,51

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Ilustración 40. Ancho de contacto entre el neumático y la superficie de dirección transversal y longitudinal.



Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2008)

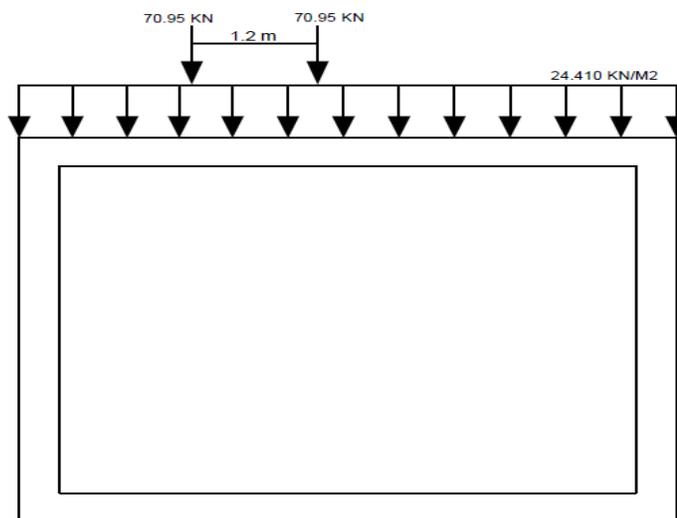
Ecuación 15. Franja de carga vehicular

$$W = \frac{P_{llanta} * MPF}{Area\ de\ influencia}$$

$$W = \frac{70.95\ KN * 1.2}{(0.2 + 1.219 + 0.3) * (0.51 + 1.219 + 0.3)} = 24.410\ KN/m^2$$

En la ilustración 41, se evidencia las cargas vivas e impacto las cuales están actuantes sobre la estructura hidráulica tipo Box Culvert.

Ilustración 41. Cargas vivas e Impacto.



Fuente: autores.

**Sobrecarga de vía.** En este caso no es aplicable. Las especificaciones AASHTO señalan (3.6.1.3.3), cuando el tramo no excede 4.5m, sólo se aplican las cargas de eje del camión o del tándem.

**Carga de agua.** Se deben considerar dos situaciones alcantarilla vacía y alcantarilla con un flujo total o Alcantarilla llena. En la parte superior de la alcantarilla la presión es cero, para calcular la presión en el fondo.

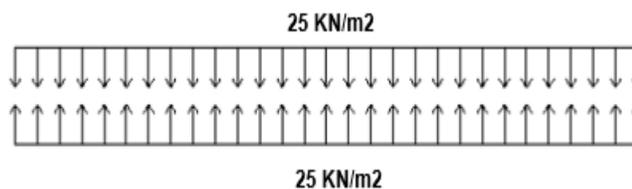
Ecuación 16, Presión del agua.

$$W_{agua} = \gamma_{agua} * H_{box}$$

$$W_{agua} = 10 \frac{KN}{m^3} * 2.5m$$

$$W_{agua} = 25 KN/m^2$$

Ilustración 42. Presión horizontal y vertical del agua.



Fuente: autores.

**7.4.2. Combinaciones de carga.** La Estructura definitiva estará dada por la ecuación 9, con las respectivas combinaciones de carga.

$$M_u = 1.3 * (M_{cm} + 1.67 * M_{cv} + M_{ca})$$

Donde:

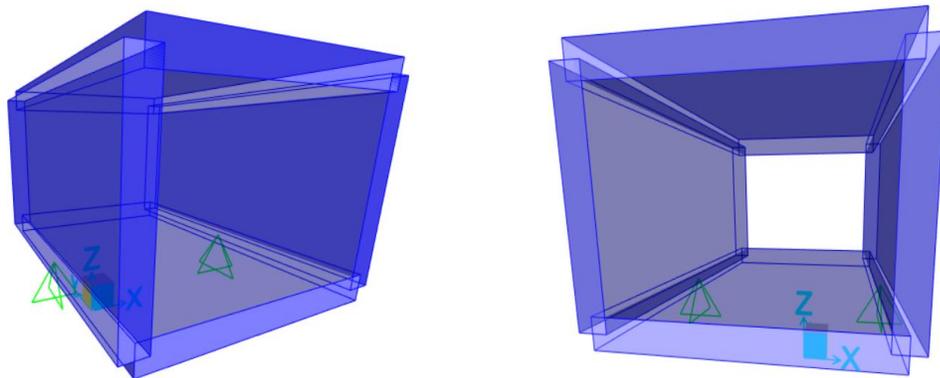
M<sub>cm</sub>: Momento carga muerta.

M<sub>cv</sub>: Momento carga viva.

M<sub>ca</sub>: Momento carga agua.

**7.4.3. Cortantes y momentos Máximos.** Para poder determinar las cortantes y momentos máximos en la estructura tipo alcantarilla de cajón o Box Culvert, se debe utilizar las combinaciones de cargas respectivamente, utilizando el software SAP 2000, para el análisis respectivo de la estructura. (ver ilustración 43).

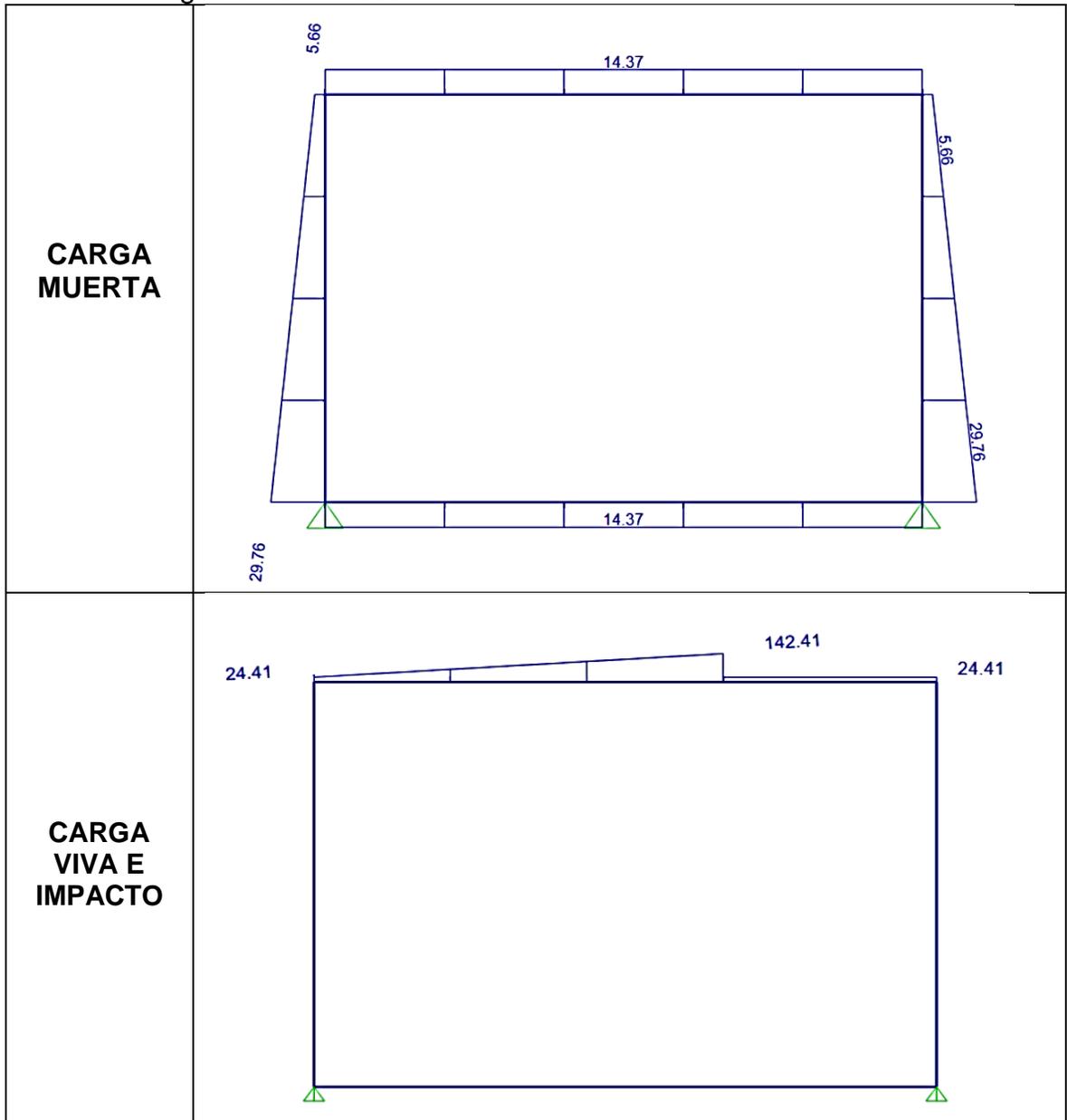
Ilustración 43. Vista 3D Box Culvert.

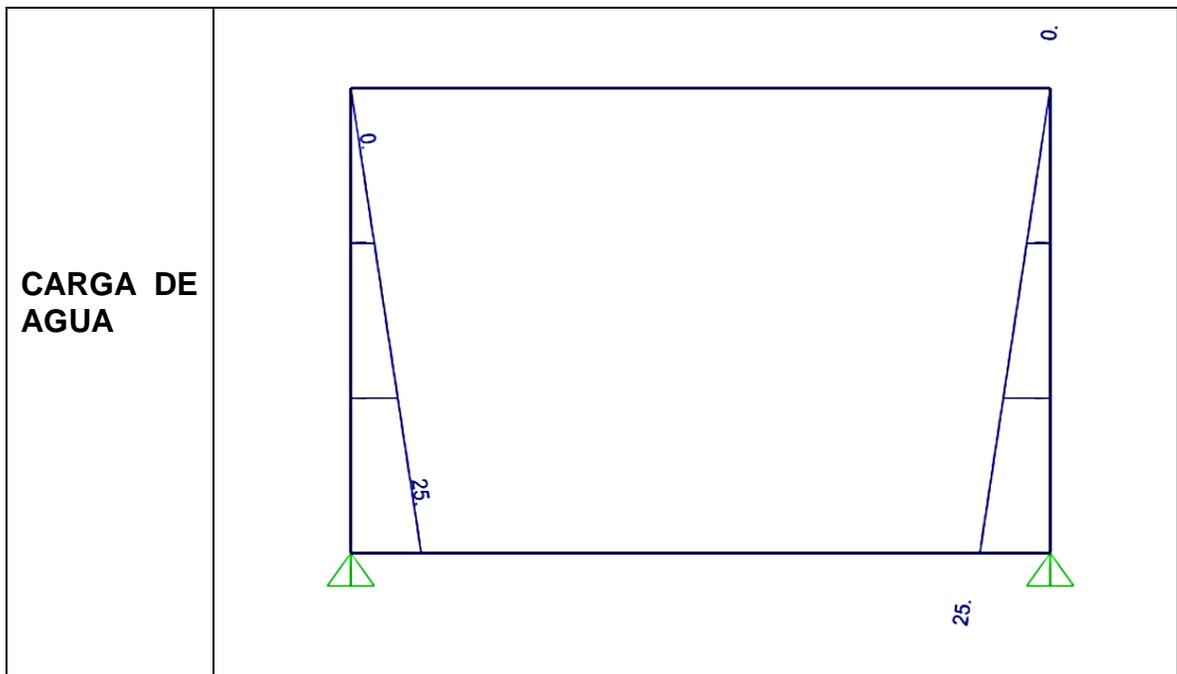


Fuente: autores.

Para la respectiva modelación, se debe ingresar las dimensiones correspondientes ancho, longitud y altura del box culvert. Adicional se deberá ingresa las cargas vivas, muerta, hidrostática e impacto con el respectivo valor de combinación para cada carga según corresponda.

Tabla 20. Cargas en SAP 2000

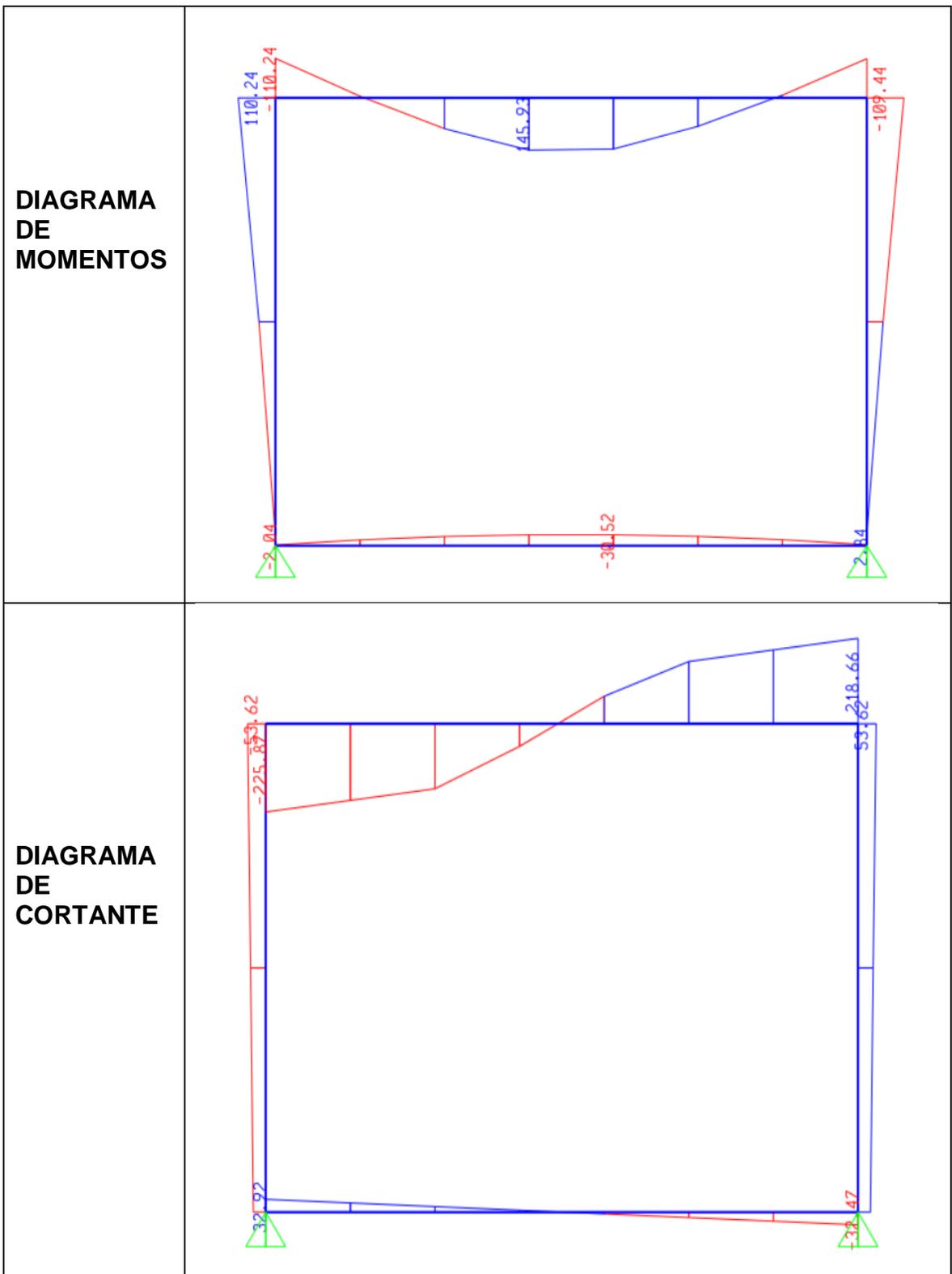


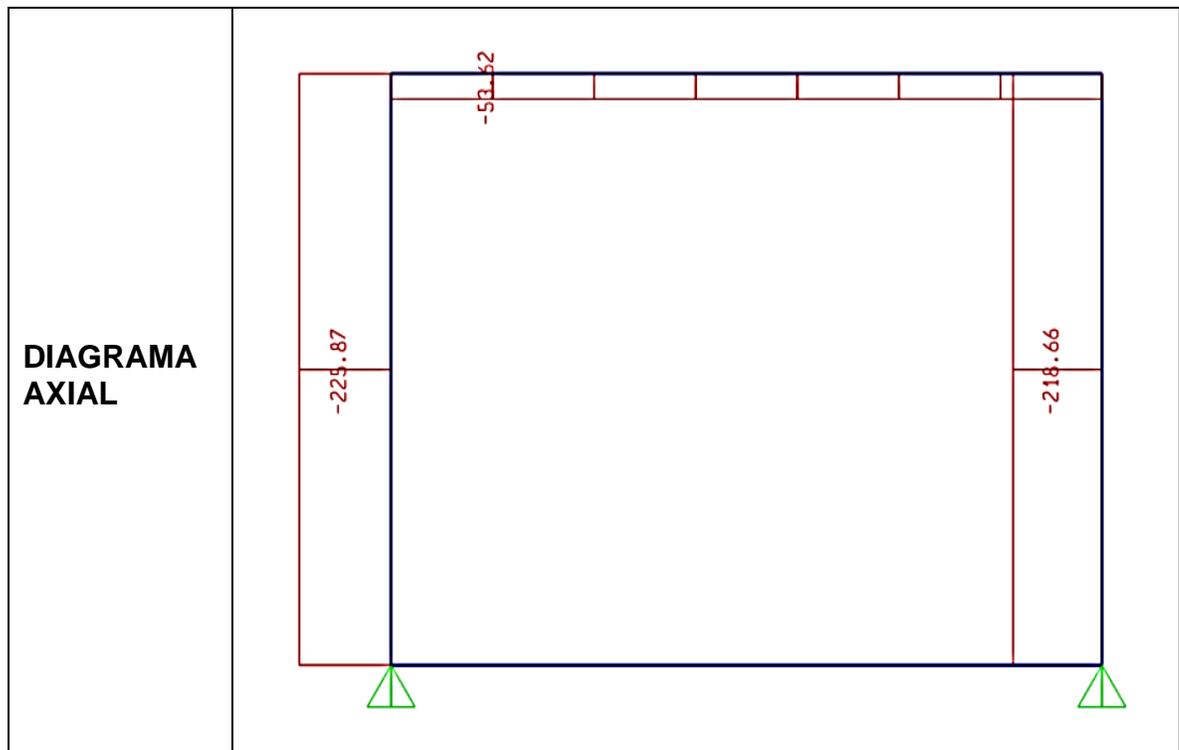


Fuente: autores.

Se evidencia en la tabla 21, el valor del momento máximo el cual registra un valor de 145.93 KN\*m y se encuentra ubicada en la placa superior. Adicional se representa el diagrama de cortantes y diagrama axial.

Tabla 21. Diagramas de Momentos, Cortante y Axial.





Fuente: autores.

**7.4.4. Método de Resistencia Ultima.** Con el método de resistencia ultima, se calcula la estructura, con las eventualidades más cerca de una posible falla, en donde se utilizan factor de mayoración en cargas, se utiliza el momento y cortante máximo.

**Cálculo de acero** Se determinará las cuantías de acero necesarias para soportar los efectos de las cargas calculados por medio de la envolvente de cargas. Se expone en este documento el cálculo del acero necesario para la losa superior del Box Culvert y se anexara los cálculos para los demás elementos.

**Diseño a Flexión.** Utilizando la combinación de carga anteriormente expuesta se tiene, lo siguiente:

- (+)  $M_u = 145.928 \text{ KN/m}$
- Utilizando  $A_s \text{ } \varnothing 5/8$  y recubrimiento  $r = 5 \text{ cm}$

Tabla 22. Recubrimiento para las armaduras principales (mm)

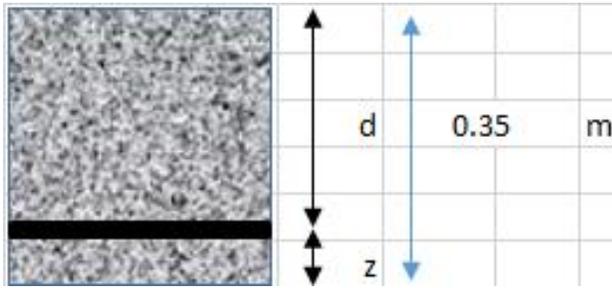
Situación	Recubrimiento (mm)
Exposición directa al agua salada	100
Hormigonado contra el suelo	75
Ubicaciones costeras	75
Exposición a sales anticongelantes	60
Superficies de losa del puentes con tránsito de neumáticos con clavos o cadenas	60
Otras situaciones exteriores	50
Otras situaciones interiores	
• Hasta Barras No. 11	40
• Barras No. 14 y No. 18	50
Fondo de losas vaciadas <i>in situ</i>	
• Hasta Barras No. 11	25
• Barras No. 14 y No. 18	50
Encofrados inferiores para paneles prefabricados	20
Pilotes prefabricados de concreto armado	
• Ambientes no corrosivos	50
• Ambientes corrosivos	75
Pilotes prefabricados de concreto presforzado	50
Pilotes vaciados <i>in situ</i>	
• Ambientes no corrosivos	50
• Ambientes corrosivos	
– En general	75
– Refuerzo protegido	75
• Cáscaras	50
• Concreto vaciado con bentonita, concreto vaciado por el sistema tremie o construcción con lechada	75

Fuente: (INVIAS, 2015)

$$Z = Re + \frac{\phi}{2}$$

$$Z = 5 \text{ cm} + \frac{1.587 \text{ cm}}{2} = 5.79 \text{ cm}$$

$$d = 35 \text{ cm} - 5.79 \text{ cm} = 29.205 \text{ cm}$$



Ecuación 17. Área Aferente

$$A_s = \frac{M_u}{0.9 F_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * F_c' * b}$$

$$a = \frac{A_s * 42 \text{ KN/cm}^2}{0.85 * 2.1 \text{ KN/cm}^2 * 100\text{cm}} = 0.235 A_s$$

Remplazando en la ecuación 17

$$A_s = \frac{1.45 \times 10^4 \text{ KN} * M}{0.9 * 42 \text{ KN/m} \left(29.20 \text{ cm} - \frac{(0.235 A_s)}{2}\right)}$$

$$A_s = 13.91 \text{ cm}^2$$

Ecuación 18. Numero de varillas

$$\text{Numero de varillas} = \frac{A_s}{\phi A_{\text{varilla}}}$$

$$N_{\text{Varillas}} = \frac{13.91 \text{ cm}^2}{1.98 \text{ cm}^2} = 7 \text{ varillas}$$

Separación "s"

$$\text{Separación} = \frac{100 \text{ cm}}{7 \text{ varillas}} = 14.3 \approx 15\text{cm}$$

**Acero Paraleló al Trafico**

$$\text{Armadura} \#5 \phi \frac{3}{8} \text{ C} / 0.15\text{cm}$$

**As Mínimo.** La Cantidad de acero mínimo proporcionada debe ser capaz de resistir el menor valor de  $M_{cr}$  y  $1,33 M_u$ .

$$Capacidad\ mínima = 1.33 M_u$$

$$Capacidad\ mínima = 1.33 * 145.928 Kn * m = 194.084 Kn * m$$

Se debe determinar el módulo de Rotura, para la mezcla de concreto, de esta manera se determina el esfuerzo posible para causar la rotura de la probeta. (ver tabla 23).

Tabla 23. Módulo de Rotura.

<b>5.4.2.6 — Módulo de rotura</b> — A menos que se determine por medio de ensayos físicos, el módulo de rotura, $f_r$ en MPa, para resistencias especificadas del concreto de hasta 100 MPa puede tomarse como:	
• Para concreto de peso normal: Excepto como se especifica abajo	$0.62\sqrt{f'_c}$
Quando se use para calcular el momento de fisuración de un miembro en el Artículo 5.8.3.4.3	$0.52\sqrt{f'_c}$
• Para concreto liviano: Para concreto de arena liviana	$0.52\sqrt{f'_c}$
Para los demás concretos livianos	$0.44\sqrt{f'_c}$

Ecuación 19. Módulo de Rotura.

$$F_r = 0.62 \sqrt{F'_c}$$

$$F_r = 0.62 \sqrt{21\text{ Mpa}} = 2.84\text{ MPa} \rightarrow 2840\text{ KN/m}^2$$

$$S = \frac{b * h^2}{6}$$

$$S = \frac{100\text{ cm} * (35\text{ cm})^2}{6} = 20416.66\text{ cm}^3 \rightarrow 0.0204\text{ m}^3$$

Tabla 24. Refuerzo Mínimo

**5.7.3.3.2 — Refuerzo Mínimo** — A menos que se especifique algo diferente, en cualquier sección no controlada por compresión de un elemento a flexión, la cantidad de refuerzo a tracción preesforzado y convencional debe ser adecuado para desarrollar una resistencia mayorada a flexión,  $M_r$ , por lo menos igual al menor de:

- 1.33 veces el momento requerido por la combinación de carga aplicable especificada en la Tabla 3.4.1-1; y

$$M_{cr} = \gamma_3 \left[ (\gamma_1 f_r + \gamma_2 f_{cpe}) \gamma_1 S_c - M_{dnc} \left( \frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right] \quad (5.7.3.3.2-1)$$

dónde:

$f_r$  = módulo de rotura del concreto especificado en el Artículo 5.4.2.6

$f_{cpe}$  = esfuerzo de compresión en el concreto debido sólo a las fuerzas efectivas de preesfuerzo (después de considerar todas las pérdidas de preesfuerzo) en la fibra extrema de la sección donde el esfuerzo de tracción es causada por las cargas externas (MPa)

$M_{dnc}$  = momento total no mayorado de carga muerta que actúa sobre una sección monolítica o no compuesta (kN m)

$S_c$  = módulo de sección para la fibra extrema de la sección compuesta donde el esfuerzo de tracción es causado por las cargas externas ( $\text{mm}^3$ )

$S_{nc}$  = módulo de sección para la fibra extrema de una sección monolítica o no compuesta donde el esfuerzo de tracción es causado por cargas externas ( $\text{mm}^3$ )

$$M_{cr} = \gamma_3 \left[ (\gamma_1 * f_r + \gamma_2 f_{cpe}) \gamma_1 * S_c - M_{dnc} \left( \frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right]$$

$$M_{cr} = \gamma_3 [(y_1 * f_r) \gamma_1 * S_c]$$

Importante:

Y1: 1.6 para todas las demas estructuras en concreto

Y3: 0.67 para refuerzo A615; Grado 60

$$M_{cr} = 0.67 * [(1.6 * 2840 \text{ KN/m}^2) * 1.6 * 0.0204 \text{ m}^3]$$

$$M_{cr} = 99.371 \text{ KN} * m$$

Se tomara el menor de los dos resultados

1,33 Mu=	194.1534	kN-m
Mcr=	99.495	kN-m

99.495
--------

Menor resultado es 99.4949 KN\*m y se compara con Mu= 145.980 KN\*m

Se chequea que 13.91 cm<sup>2</sup> que es el acero mínimo (As) resiste

Mu= 145.9800 Kn\*m > 99.4949 Kn\*m (Cumple)

### AS distribución.

para momento positivo:

- Si la armadura principal es paralela al tráfico:
 

$$1750/\sqrt{S} \leq 50 \text{ por ciento}$$
- Si la armadura principal es perpendicular al tráfico:
 
$$3840/\sqrt{S} \leq 67 \text{ por ciento}$$

donde:

S = longitud de tramo efectiva considerada igual a la longitud efectiva especificada en el Artículo 9.7.2.3 (mm).

$$\frac{1750}{\sqrt{S}} \leq 50\%$$

$$\frac{1750}{\sqrt{3500}} = 29.58 \leq 50\%$$

$$As \text{ Separación} = 29.58 \% * As \text{ minimo}$$

$$As \text{ Separación} = 29.58 \% * 13.91 \text{ cm}^2$$

$$As \text{ Separación} = 4.1164 \text{ cm}^2$$

Numero de varillas

$$Numero \text{ de varillas} = \frac{As}{\phi A_{varilla}}$$

$$NVarillas = \frac{4.1164 \text{ cm}^2}{1.27 \text{ cm}^2} = 5 \text{ varillas}$$

Separación "s"

$$Separación = \frac{100 \text{ cm}}{5 \text{ varillas}} = 20 \text{ cm}$$

### Acero Distribución

$$Armadura \#4 \phi \frac{1}{2} C / 0.2 \text{ cm}$$

AS temperatura

$$A_s = \frac{0.75 * b * h}{2 (b + h) f_y}$$

$$A_s = \frac{0.75 * 3500 \text{ mm} * 440 \text{ mm}}{2 (3500 \text{ mm} + 440 \text{ mm}) 420 \text{ MPa}}$$

$$A_s = 0.3889 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \rightarrow 3.4920 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Chequeo

$$0.2333 \leq A_s \leq 1.27$$

$$0.2333 \leq 0.398 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \leq 1.27 \text{ (Cumple)}$$

dirección, debe satisfacer:

$$A_s \geq \frac{0.75bh}{2(b+h)f_y} \quad (5.10.8-1)$$

$$0.233 \leq A_s \leq 1.27 \quad (5.10.8-2)$$

donde:

- $A_s$  = área de refuerzo en cada dirección y en cada cara ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )  
 $b$  = ancho menor de la sección del elemento estructural (mm)  
 $h$  = menor espesor de la sección del elemento estructural (mm)  
 $f_y$  = resistencia especificada a la fluencia de las barras de refuerzo  $\leq 515$  MPa

Numero de varillas

$$\text{Numero de varillas} = \frac{A_s}{\phi A_{\text{varilla}}}$$
$$N_{\text{Varillas}} = \frac{3.49 \text{ cm}^2}{1.27 \text{ cm}^2} = 5 \text{ varillas}$$

Separación "s"

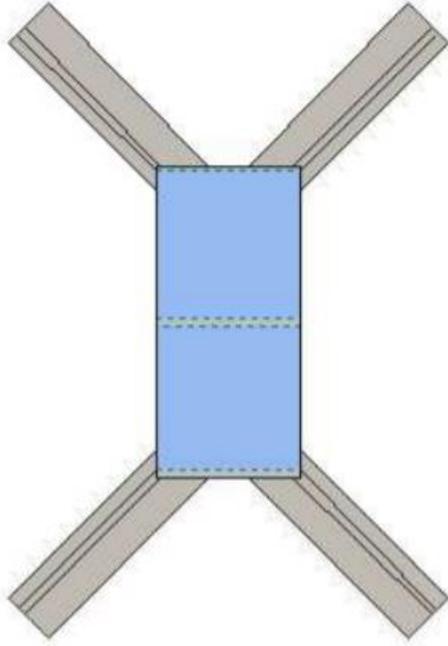
$$\text{Separación} = \frac{100 \text{ cm}}{5 \text{ varillas}} = 20 \text{ cm}$$

**Acero Distribución**

$$\text{Armadura \#4 } \phi \frac{1}{2} \text{ C / } 0.2 \text{ cm}$$

Debido a que la velocidad del flujo es de 2.69 m/s, que corresponde a un caudal máximo de 11.6 m<sup>3</sup>/s, no se hace necesario la construcción de un dissipador de energía en el descole de la alcantarilla, pero se recomienda para protección de socavación y erosión por resaltos hidráulicos, la protección con una placa en concreto de espesor 0.30m. Adicional la construcción de aletas en el descole y encoque de la alcantarilla tipo cajón o Box Culvert, para el direccionamiento del cauce y estabilización del talud. (ver ilustración 44)

Ilustración 44. Diseño propuesto del Box Culvert para el Barrio Ecoparaiso



Fuente: autores.

## 8. CONCLUSIONES

La cuenca hidrográfica se caracteriza por tener una geométrica irregular a la cual le corresponde una forma oval oblonga o rectangular oblonga, adicional se caracteriza por ser achatada con tendencia a ocurrencia de avenidas, sin embargo, no presenta tendencia a desarrollar procesos de tipo torrencial.

Con la realización de la propuesta expuesta en este documento se reducirá notablemente los tiempos de recorridos, además de permitir el servicio permanente de la vía suprimiendo los riesgos que implica el cruce de la quebrada en épocas de invierno.

De acuerdo con los valores máximos registrados en la estación pluviográfica, los más altos se han presentado en los años 1972, 1988 y 2018, con valores de 121.6 mm, 123.5 mm y 103.7 mm, respectivamente, adicional el más 50% del área de la hoya hidrografía en estudio, posee un tipo de suelo característico por ser profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo y cobertura de cultivos y bosques, lo cual permite determinar el número de curvas (CN). Por ende, se concluye que el caudal máximo es de 11.8 m<sup>3</sup>/s en la cuenca de estudio.

Luego de realizar la modelación hidráulica en condiciones a implementar, y teniendo en cuenta los valores de altura máxima del flujo con el respectivo galibo y el caudal máximo, se puede concluir que el pre diseño para el box culvert con dimensiones (2.5mts) de alto y (3.5mts) de ancho, cumple con los parámetros de diseño establecido por el INVIAS, al no exceder su capacidad hidráulica máxima, esto se corrobora con la implementación del software de análisis hidráulico HY8. Adicional, cumple con las recomendaciones de la velocidad máxima para un canal revestido con hormigón pues no es mayor a 6.00 m/s, el cual para esta sección fue de 2.69 m/s.

El diseño estructural se realizó con el método de resistencia última, el cual cumple con los momentos y cortantes máximos registrados por las distintas cargas identificadas, por ende, se concluye que el diseño cumple con los criterios de diseño estipulados en la norma colombiana de diseño de puentes (CCP14).

## 9. RECOMENDACIONES

Realizar lo más pronto posible la construcción del box culvert, puesto que la estructura hidráulica actual, representa un riesgo inminente al ser la única entrada que comunica directamente el barrio la Gaviota con el barrio Ecoparaiso en la comuna 6 de la Ciudad de Ibagué. La cual su infraestructura actual, se encuentra deteriorada presentando patologías de socavación en los cimientos, ruptura en la estabilización del talud por el método de muro en gaviones, erosión de la banca, agrietamiento y desintegración de la estructura en concreto. Adicional en épocas de invierno cuando las precipitaciones tienen mayor intensidad y duración, se desborda la quebrada por encima de la estructura, imposibilitando el paso por dicho punto, lo cual deja vulnerable a la comunidad.

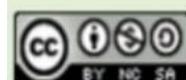
Es primordial tener conocimiento de la opinión de las personas que habitan cerca al punto de estudio debido a que, estas experiencias y/o vivencias, son de gran importancia para el avance del estudio a ejecutar.

Se recomienda implementar las dimensiones del Box Culvert como se plantea en el trabajo, debido a que se han tomado en cuentas diversos estudios morfométricos, hidrológicos, hidráulicos y estructurales propios de la cuenca en estudio, esto con la finalidad, de entregar un diseño económico, óptimo y funcional que cumpla con la norma colombiana de puentes (CCP-14), de esta manera se puede asegurar que a un periodo de retorno de 25 años con la intensidad, duración y frecuencia menos favorable registrada, se va a captar la totalidad del caudal máximo y entregar en el descole sin inconvenientes.

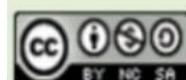
Es necesario hacer campañas e incentivar a la comunidad, al mantenimiento preventivo, una vez se construya la estructura hidráulica tipo Box Culvert, con el fin de garantizar la limpieza y evitar obstrucción por sedimentos. Adicional se recomienda realizar el diseño de aletas en el encole y descole de la alcantarilla para encausar de manera efectiva el flujo y finalmente construir en el descole del Box Culvert un solado protector, para evitar socavación y erosión provocado por la velocidad y los resaltos hidráulicos del flujo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Castellanos , P. M., & Sierra Aponte, L. X. (2013). Evaluación de metodos de construcción de Curvas IDF a partir de distirbuciones de probabilidades y parametros de ajuste. *Revista Facultad de Ingeniería, UTPC*, Vol. 22 Pag. 25-33.
- AcuaValle. (2019). *GLOSARIO PARA LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, PRESTADOS POR ACUAVALLE S.A. ESP.* Armenia, Quindio.
- Acueducto agua y Alcantarillado de Bogota . (2020). *Glosario.* Bogota D.C.: Alcandía de Boogota.
- Barrios Osorio, J. H. (2021). *Determinación de la Influencia del Box Culvert en las Inundaciones de la Quebrada el Melliz, Viterbo - Caldas.* Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Cadavid, D. O. (2020). *PREDISEÑO DE UN BOX CULVERT ASOCIADO AL MANEJO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL PARA EL PROYECTO CITADELA DI TERRA, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE EL RETIRO ANTIOQUIA.* Medellin, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Clavijo Gomez, H. S., & Ramirez Fonseca, D. Y. (2018). *Prediseños de los estudios de Geotecnia, diseño geometrico, hidraulico y estructural para el mejoramiento vial de la vereda Santa Rita Municipio Sylvania.* Bogota D.C.: Universidad Santo Tomas .
- Corporacion Autonoma Regional del Tolima. (2018). *Ibague Sostenible 2037 Territorio conector, Colectivo y competitivo.* Ibague: Una Tinta Medios.
- Empresa de Servicios Públicos de Chía. (2014). *Glosario Termino Tecnicos de los servicios publicos de acueductos, alcantarillado y aseo.* Bogota D.C.
- EPM. (2013). *Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado de las empresas publicas de Medellin E.S.P.* Colombia: Copyright.
- Garzon Tovar, A. F. (2018). *Reconstrucción Historica del Asentamiento Informal Ecoparaiso, Contiguo al Barrio la Gaviota, Comuna 6 de la Ciudad de Ibagué.* Tolima: Universidad de Tolima.
- Gasulla, M. M. (2012). Bardelon.
- I.N.V.E-414-07. (2013). *Invias* . Obtenido de file:///C:/Users/DELL/Downloads/Norma%20INV%20E-414-07.pdf
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2018). *Mapas de Suelos del Tolima.*
- Instituto Nacional de Vías. (2008). *Portal- INVIAS- Colombia.* Obtenido de Manual de diseño geométrico de vias: <https://www.invias.gov.co/>
- Instituto Nacional de Vías; Ministerio de Transporte. (2009). *Manual de Drenaje Vial.* Colombia : Republica de Colombia.
- INVIAS. (2015). *Norma Colombiana de Diseño de Puente CCP14.*
- Limites de la Ciudad.* (2021). Obtenido de <https://monumentosdeibague.es.tl/Limites.htm>



- Martinez Castaño, B. L., Giraldo Castaño, J. H., & Gonzales Nevio, J. (2015). *Diseño y Calculo Estructural de un Box Culvert para Intervenir un Tramo de la Quebrada la Dulcera*. Pereira: Universidad Libre seccional Pereira.
- Minvivienda. (23 de Octubre de 2019). Obtenido de Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS (Titulo D): [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO\\_D](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D).
- Muñoz Mera, J. D. (2020). *Auxiliar de Diseño estructural H y C Ingeniería Estructural Colombia S.A.S*. Popayan Cauca: Universidad del Cauca.
- Roshan Pastel, S. J. (2019). Analysis and Design of Box Culvert: A Review. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, Volumen 05.
- Saenz, G. (1999). *Hidrologia En La Ingeniería*. Bogota D.C.: Escuela Colombiana.
- Trece. (2020). Qué pasa con la basura en nuestras regiones. *Canal 13*.



## ANEXOS.

### Anexo A. Carta de Petición



Ibagué, Agosto 28 de 2019

Oficio: **3849**

Señora  
**ESPERANZA PALACIO**  
Calle 11 No. 1-47  
Barrio La Gaviota  
Ibagué – Tolima

Respetada señora:

Ref.: IUS-E-2019-447499 / IUC-D-2019-1361004.

Comendidamente me permito informarle que su petición elevada a la Procuraduría General de la Nación, de fecha Julio de 2019, donde solicita la construcción de un Puente en el sector ECOPARAISO del Barrio la Gaviota, se dio traslado al doctor **GUILLERMO ALFONSO JARAMILLO MARTINEZ**, Alcalde del Municipio de Ibagué; por ser asunto de competencia de la Alcaldía atender su petición

Cualquier información adicional debe dirigirse a dicha dependencia.

Contra la anterior decisión no procede recurso alguno.

Cordialmente,

**ELKIN ANSELMO OLIVEROS POLANÍA**  
Procurador Provincial Ibagué

Fhv/Ta.

Anexo B. Comunicado para el defensorio del pueblo.

  
Defensoría  
del Pueblo

DEFENSORIA DEL PUEBLO  
Radicado: 20190060320796621  
  
Fecha radicado: 2019-08-21

ibagué,

Señora  
**MARÍA ESPERANZA PALACIO**  
Calle 11 No. 1 – 47 barrio la Gaviota  
Ibagué - Tolima

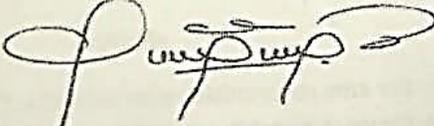
Referencia Expediente Número HMP – 20190060320886132  
Informar Radicado de Queja y Trámite

Respetada Señora:

De conformidad con lo dispuesto en el Artículo 282 de la Constitución Política de Colombia, en concordancia con la Ley 24 de 1992, comedidamente, me permito manifestarle que esta Regional sometió a estudio su queja y le asignó el número radicado de la referencia, procediendo a remitirla al organismo estatal competente –la Secretaría de Infraestructura de Ibagué– con el propósito que conozca del asunto por Usted expuesto, le comunique directamente y nos informe de las gestiones adelantadas para prevenir y/o procurar el resarcimiento de los derechos fundamentales que presuntamente le están siendo vulnerados a Usted y los demás habitantes del mencionado sector de la ciudad.-

Así mismo y con el fin de ejercer la vigilancia y el seguimiento al presente trámite, se asignó al Profesional Especializado **HERNANDO MOLANO PÉREZ** con quien podrá establecer comunicación a efectos de conocer los resultados obtenidos con las gestiones adelantadas.

Cordialmente,

  
MIGUEL ANGEL AGUIAR DELGADILLO  
DEFENSOR DEL PUEBLO REGIONAL TOLIMA

Copia NA  
Anexos NA

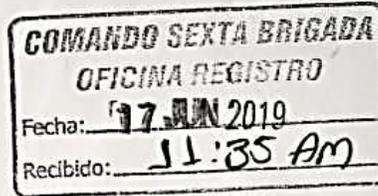
Proyectó Hernando Molano Pérez – hmolano@defensoria.gov.co  
Revisó Miguel Ángel Aguiar Delgadillo – Tolima@defensoria.gov.co.  
Archivado en Q – 20190060320886132 / VW – 2019068721  
Dependencia ATQ - 6032

000074FF56991092243d6ea3c6486452c  
Para verificar se debe abrir con Adobe Acrobat, PDF

Anexo C. Carta de Petición a la sexta Brigada.

Ibagué junio 2019

CORONEL WILLIAN FERNANDO PRIETO  
COMANDANTE DE LA 6 BRIGADA  
EJERCITO NACIONAL DE COLOMBIA



Cordial saludo mi coronel: Esperanza palacio en calidad de edil de la comuna 6 en el uso de mis atribuciones que me otorga la ley 136/ 94 y la ley 1437 del /18 y con los firmantes residentes en el barrio Ecoparaiso elevamos ante su despacho lo siguiente:

Hechos

La comunidad del barrio Ecoparaiso se encuentra preocupada por una problemática que les está afectando en el momento y es el paso del salir y entrar del barrio ya que la entrada es por la gaviota calle 11 con 2 hacia el barrio Ecoparaiso y allí se había construido un pequeño puente de 50 metros igualmente unos gaviones pero a raíz del fuerte invierno la corriente de agua arrastro con los gaviones debilitando ese pequeño puente que quedo encima de la quebrada la tuza.

Ante el difícil trayecto para salir y entrar al barrio Ecoparaiso se están viendo afectadas en su integridad física y psicológica los niños que salen a diario a estudiar, los adultos mayores, las personas con discapacidad, pacientes que deben salir a su tratamiento, mujeres gestantes, igualmente las personas que tienen sus unidades productivas y la parte comercial pues es difícil que entren los vehículos a surtir sus negocios. Como también la entrada de una ambulancia en caso de emergencia, pues esto afecta la calidad de vida de toda esta comunidad la cual está compuesta por cuatrocientas familias y más o menos doscientos niños.

Petición

Solicitamos ante usted mi coronel se sirva colaborarnos ante esta emergencia y dentro de su voluntad y competencia junto a los diferentes entes de competitividad y en forma articulada con esta servidora exista la posibilidad de construirles el puente vehicular y peatonal para el barrio ecoparaiso de manera urgente, antes de que ocurra una tragedia mas grande y así mismo mejorar el bienestar de toda esta comunidad.

La comunidad del barrio ecoparaiso está dispuesta a colaborar en lo que fuere necesario y también con su mano de obra con tal de remediar esta situación

Agradecemos inmensamente su atención y en espera de pronta respuesta

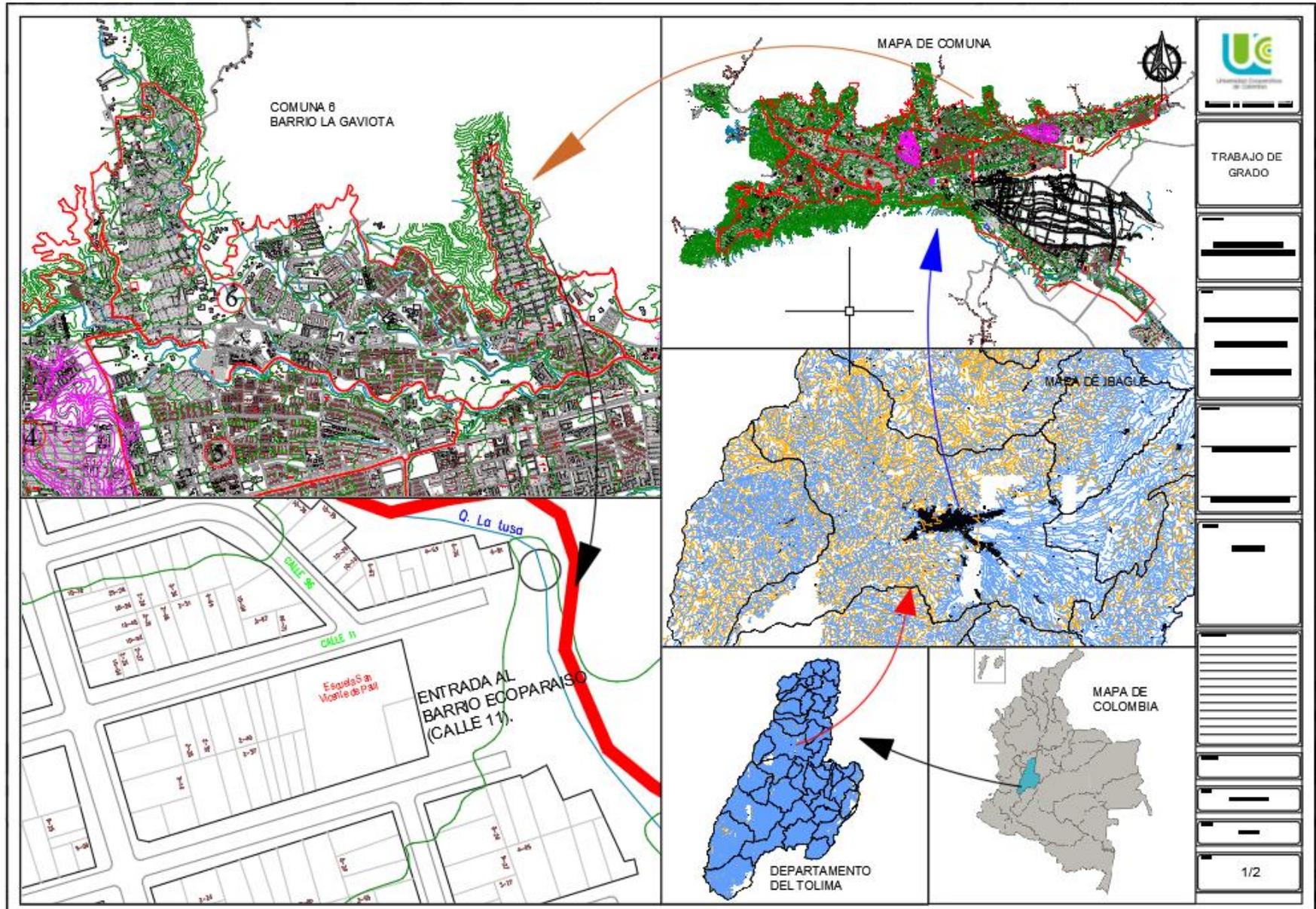
Notificación: calle 11 – 1-47 barrio/ gaviota

cl.3209980254

firma:

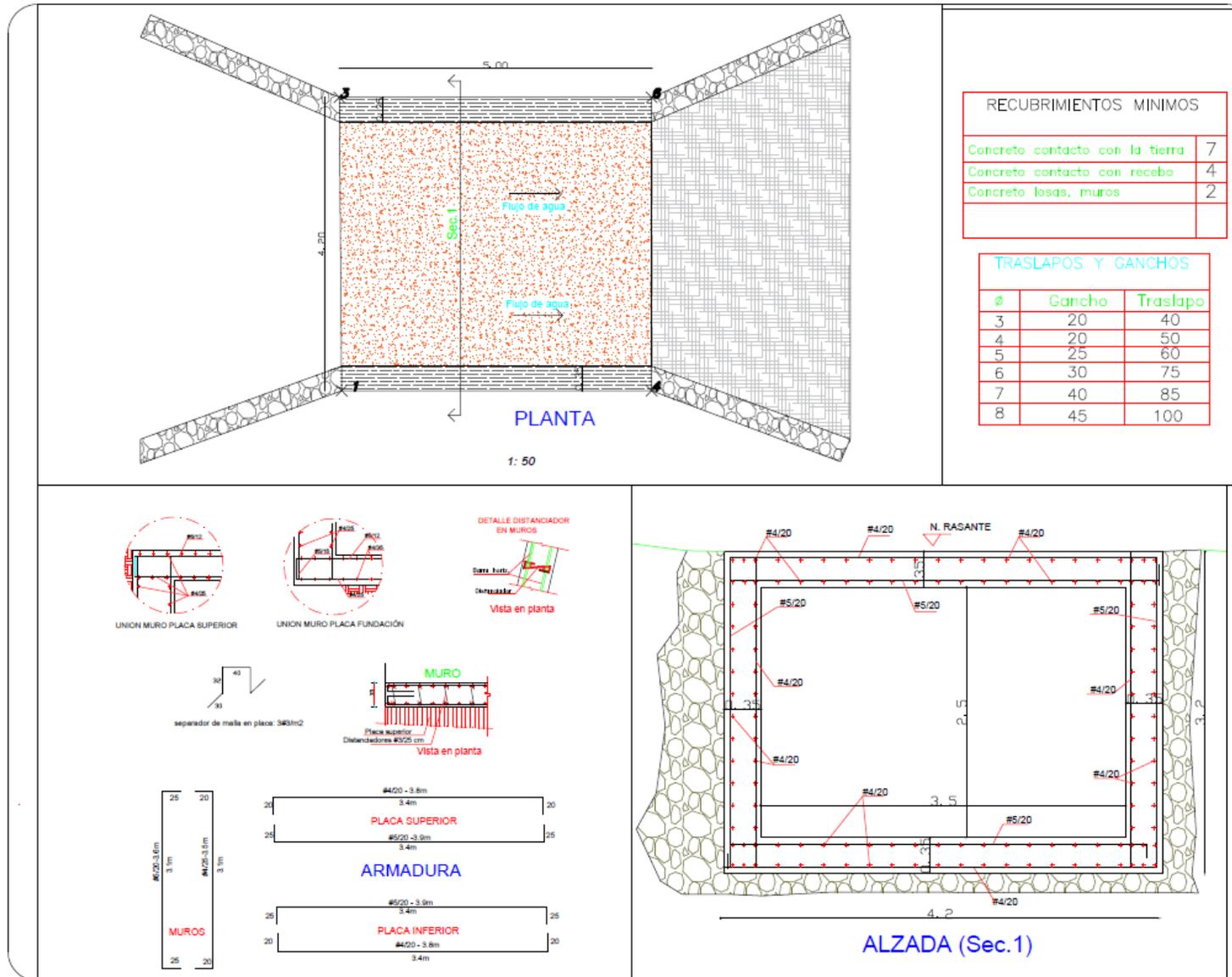
*María Esperanza Palacio*  
38239284  
Edil. C. 6

Anexo D. Plano del Box Culvert.



Fuente: autores.

Anexo E. Plano del Box Culvert.



PROYECTO: **BOX CULVERT**  
Barrio Ecoparaiso  
Quebrada la tuza  
Ingen. Departamento del Tolima

VO. DEL PROPIETARIO:  
Municipio de Ibagué - Tolima

VO. DEL INGENIERO:

CONTENIDO: **PLANTA CORTE Y DETALLES**

ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO:  
CONCRETO ARMADO: Fc = 2800 kg/cm<sup>2</sup> - 4000 psi  
CONCRETO ARMADO: Ft = 42000 kg/cm<sup>2</sup> - 6000 psi  
ACERO: E = 200000 kg/cm<sup>2</sup> - 28000000 psi  
ACERO: E = 200000 kg/cm<sup>2</sup> - 28000000 psi  
ACERO: E = 200000 kg/cm<sup>2</sup> - 28000000 psi

COMENTARIOS:  
LA ESTRUCTURA SE HA CALCULADO CON RELLENO  
DENTRO DE LA PLACA A NIVEL DE NIVANTE DE 10 CM DE AL.

DESENHO: **ed. B. B. B.**  
FECHA: **IBAGUE, SEPTIEMBRE DE 2021**  
ESCALA: **1/75** PLANO Nº: **1 DE 1**