# MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA CÓRDOBA.

## ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL



**MONTERÍA, CÓRDOBA**

**SEPTIEMBRE DE 2024**

| | |
|---|---|
| GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA | **MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA CÓRDOBA.** |

| **CONTROL DE REVISIONES** | | |
|---|---|---|
| **REV.** | **FECHA** | **DESCRIPCIÓN** |
| 1 | Septiembre - 2024 | EMITIDO PARA REVISIÓN |
| 2 | Septiembre - 2024 | EMITIDO PARA REVISIÓN |
| | | |

| **CUADRO DE PROFESIONALES** | |
|---|---|
| **ELABORÓ:**<br><br><br>Jose Jorge Barreto Barreto | Ingeniero Civil.<br>T.P. 22202-355971 COR |
| **APROBÓ:**<br><br><br>Jose Jorge Barreto Barreto | Ingeniero Civil.<br>T.P. 22202-355971 COR |

## TABLA DE CONTENIDO

**1. RESUMEN EJECUTIVO ..... 7**

**2. ÁREA DE ESTUDIO ..... 7**

2.1. Localización Del Proyecto ..... 7

2.2. Antecedentes ..... 9

2.3. Clima y Temperatura ..... 11

2.4. Hidrografía ..... 11

**3. NORMATIVIDAD ..... 11**

**4. METODOLOGÍA ..... 12**

4.1. Estudio Hidrológico ..... 12

4.1.1. Análisis Morfométrico ..... 12

4.1.2. Análisis Pluviométrico ..... 12

4.1.3. Elaboración de curvas IDF ..... 12

4.1.4. Tiempo de concentración ..... 13

4.1.5. Periodo de retorno de estudio ..... 14

4.1.6. Cálculo de Caudal por Método Racional ..... 17

4.1.6.1. Coeficiente de escorrentía (C) ..... 17

4.1.6.2. Intensidad de precipitación ..... 18

4.2. Dimensionamiento Hidráulico de Estructuras ..... 18

4.2.1. Parámetros Generales ..... 18

4.2.1.1. Velocidad máxima permitida ..... 18

4.2.1.2. Coeficiente de rugosidad (n) ..... 19

4.2.1.3. Caudal de diseño ..... 19

4.2.2. Análisis Hidráulico De La Sección Vial ..... 19

4.2.3. Cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros ..... 20

4.2.4. Modelación Hidráulica con HY8 ..... 22

**5. RESULTADOS ..... 23**

5.1. Análisis Hidrológico ..... 23

5.1.1. Morfometría ..... 24
5.1.2. Estación Meteorológica ..... 25
5.1.1. Cálculo de la precipitación media ..... 25
5.1.2. Periodo de Retorno ..... 29
5.1.3. Tiempos de Concentración ..... 29
5.1.4. Intensidad de Precipitación ..... 29
5.1.5. Estimación del caudal por el método racional ..... 32
5.2. Análisis Hidráulico ..... 32
5.2.1. Análisis Hidráulico de la sección vial ..... 32
5.2.2. Dimensionamiento Hidráulico de Cárcamos ..... 34
5.2.1. Análisis Hidráulico de Sumideros Transversales ..... 35
5.2.2. Chequeo Hidráulico de Box Culvert ..... 38
5.3. Resumen de Resultados ..... 41
**6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 42**
**7. REFERENCIAS ..... 43**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización General ..... 8
Figura 2. Localización Especfica ..... 8
Figura 3. Registro Fotográfico de Visita de Campo. ..... 10
Figura 4. Delimitación de Áreas de Drenaje. ..... 24
Figura 5. Localización de la Estación Pluviométrica con respecto a las vías de estudio. ..... 26
Figura 6. Sección Típica Cárcamo Proyectado. ..... 34
Figura 7. Revisión de dimensiones hidráulicas propuestas. ..... 35

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Climatología de Montería. ..... 11
Gráfico 2. Curvas IDF. ..... 28

Gráfico 3. Sección Transversal – Modelación de Box propuesto. ..... 39

Gráfico 4. Vista Longitudinal – Modelación de Box propuesto..... 39

Gráfico 5. Sección Transversal – Modelación de Box Existente. ..... 40

Gráfico 6. Vista Longitudinal Modelación de Box Existente. ..... 40

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de Localización de los Tramo Vial..... 7

Tabla 2. Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe. ..... 13

Tabla 3. Períodos de retorno recomendados según obra de drenaje vial..... 14

Tabla 4. Períodos de retorno recomendados según área de drenaje. ..... 14

Tabla 5. Determinación del Tiempo de Concentración (Tc) para proyectos urbanísticos. ..... 16

Tabla 6. Valores de coeficiente de escorrentía referencia. ..... 18

Tabla 7. Valores máximos de velocidades en canales revestidos..... 18

Tabla 8. Valores de coeficiente de rugosidad..... 19

Tabla 9. Parámetros necesarios para análisis en HY-8..... 23

Tabla 10. Parámetros morfométricos de las cuencas delimitadas. ..... 25

Tabla 11. Estación pluviométrica seleccionada del área de estudio..... 25

Tabla 12. Cálculo de la precipitación media. ..... 27

Tabla 13. Cálculo de intensidades regionalizadas para curvas IDF. ..... 28

Tabla 14. Cálculo de la intensidad de precipitación..... 29

Tabla 15. Parámetros para Tiempos de Concentración. ..... 30

Tabla 16. Cálculo de Tiempos de Concentración..... 31

Tabla 17. Cálculo de caudales por el método racional para estructuras hidráulicas. ..... 32

Tabla 18. Chequeo del tirante en las vías parte 1. ..... 33

Tabla 19. Chequeo del tirante en las vías parte 2. ..... 33

Tabla 20. Determinación de Cárcamo Propuesto parte 1. ..... 34

Tabla 21. Determinación de Cárcamo Propuesto parte 2. ..... 35

Tabla 22. Análisis hidráulico de rejilla de captación #1..... 36

Tabla 23. Análisis hidráulico de rejilla de captación #2..... 36

Tabla 24. Análisis hidráulico de rejilla de captación #3..... 37

Tabla 25. Análisis hidráulico de rejilla de captación #4..... 38

Tabla 26. Variables de diseño para chequeo hidráulico de Box Culvert en HY8. ..... 38

Tabla 27. Resultados de chequeo de Box Proyectado en HY8. ..... 41

Tabla 28. Resultados de chequeo de Box Existente en HY8..... 41

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 3.7.1. Planos de Diseño
- Anexo 3.7.2. Memorias de Cálculo
- Anexo 3.7.3. Modelación de Box Culvert

# 1. RESUMEN EJECUTIVO

Para el diseño de estructuras hidráulicas, es necesario conocer el comportamiento hidrológico de la zona de estudio o zona de influencia que genere escorrentías superficiales para posteriormente plantear diseños y modelaciones hidráulicas que convengan el buen funcionamiento y la durabilidad de la estructura a diseñar, mitigando el riesgo de inundación de la zona y el colapso de las estructuras diseñadas. Por tal motivo en este resumen ejecutivo se describe de manera breve la metodología y el proceso para la obtención de resultados.

En el **numeral 2** se realiza una descripción del área de estudio, con localización de las vías a intervenir y los antecedentes del proyecto.

En el **numeral 3** se presenta la normatividad aplicada a este tipo de proyectos en Colombia. De igual forma, en el **numeral 4** se describen las metodologías a utilizar durante el estudio hidrológico e hidráulico. En el **numeral 5** se presentan los resultados obtenidos de estos estudios y los detalles constructivos para las obras hidráulicas proyectadas.

Por último, en el **numeral 6** se consignan una serie de conclusiones y recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta por la empresa que vaya a desarrollar el proyecto durante la etapa constructiva.

# 2. ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se presentan las características generales de la zona de estudio, importantes para la contextualización previa a la realización del estudio hidrológico hidráulico.

## 2.1. Localización Del Proyecto

El proyecto se encuentra localizado en el municipio Montería, departamento de Córdoba, con las coordenadas geográficas presentadas en la **Tabla 1**. En la **Figura 1** se presenta la localización general del proyecto, con referencia a la zona central del municipio, y en la **Figura 2** presenta su localización específica.

| Barrio | Nomenclatura Catastral | PR Inicial | PR Final | Coordenadas Inicial | | Coordenadas Final | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Este | Norte | Este | Norte |
| CANTACLARO | A-1 CALLE 15A ENTRE CARRERA 34A Y 36 | K0+000.00 | K0+155.00 | 1133210.963 | 1457865.452 | 1133357.535 | 1457815.139 |
| | A-2 CALLE 18 ENTRE CARRERA 34A Y 36. | K0+000.00 | K0+145.71 | 1133236.398 | 1457939.276 | 1133373.470 | 1457889.866 |
| | A-3 CARRERA 36 ENTRE CALLE 15A Y 18 | K0+000.00 | K0+081.47 | 1133352.346 | 1457819.993 | 1133379.234 | 1457896.865 |

**Tabla 1. Coordenadas de Localización de los Tramo Vial.**
**Fuente: información inicial del proyecto.**

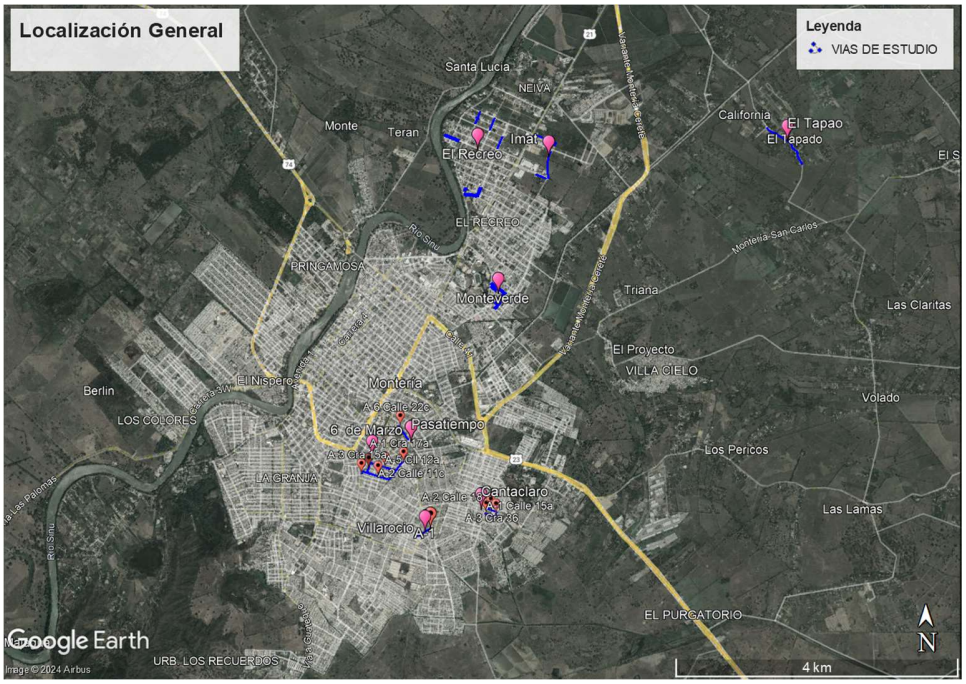



**Figura 1. Localización General**
**Fuente: (Google, 2023)**




**Figura 2. Localización Especfica**
**Fuente: (Google, 2023)**

## 2.2. Antecedentes

El proyecto **MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA CÓRDOBA**, comprende el mejoramiento de diferentes tramos viales en el municipio de Montería.

Actualmente las vías se encuentran en material tipo afirmado, algunas cuentan con cunetas en terreno natural en ambos lados de la vía y algunos tramos cuentan con canales de drenajes revestidos en concreto.

Teniendo en cuenta lo anterior, para los tramos viales pertenecientes al Sector de estudio se propone el drenaje superficial sobre la vía en los casos que se permita de acuerdo con las pendientes y puntos bajos proyectados. Así mismo, se proyecta donde se requiera diferentes obras de drenaje como box culverts, canales bajo andén, cárcamos presurizados, sumideros de rejillas, entre otros.







**Figura 3. Registro Fotográfico de Visita de Campo.**
**Fuente: elaboración propia.**

## 2.3. Clima y Temperatura

En Montería, los veranos son cortos y tórridos; los inviernos son caliente y mojados y esta opresivo y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varia de 23 °C a 35 °C y rara vez baja a menos de 22 °C o sube a más de 38 °C.

La temporada calurosa dura 2,3 meses, del 2 de febrero al 11 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 34 °C. el día más caluroso del año es el 25 de marzo, con una temperatura máxima promedio de 35 °C y una temperatura mínima promedio de 24 °C.

La temporada fresca dura 3.5 meses, del 16 de agosto al 1 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 32 °C. el día más frio del año es el 21 de enero, con una temperatura mínima promedio de 23 °C y máxima promedio de 34 °C.

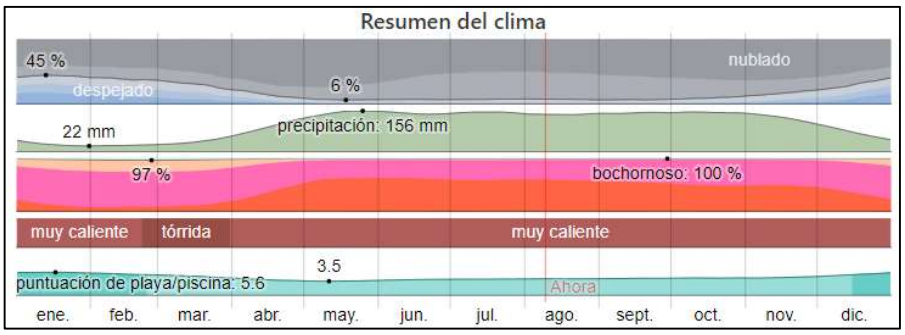



**Gráfico 1. Climatología de Montería.**
**Fuente: Weather Spark (Weather Spark, s.f.).**

## 2.4. Hidrografía

La hidrografía de Montería, se caracteriza por la presencia de varios ríos y quebradas que atraviesan el municipio. Es el río Sinú es el más importante de la región y atraviesa la ciudad de Montería. Nace en la cordillera Occidental de Colombia y desemboca en el mar Caribe.

Es importante destacar que la hidrografía de la región es muy valiosa para la agricultura, la ganadería y el suministro de agua potable para la población. Sin embargo, también enfrenta desafíos como la contaminación y la erosión, que requieren atención y manejo sostenible para preservar estos recursos naturales.

# 3. NORMATIVIDAD

La reglamentación y recomendaciones dadas en Colombia para las obras hidráulicas y de drenaje vial están resumidas a continuación.

- Manual de Drenaje para Carreteras (Ministerio de Transporte de Colombia, 2009)

- Resolución 0330 de 2017 – "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009". (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

# 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta una descripción de las metodologías a utilizar durante la elaboración del presente estudio Hidrológico e Hidráulico.

## 4.1. Estudio Hidrológico

Este inciso describe la metodología correspondiente al análisis hidrológico del proyecto, se mencionan los parámetros para el cálculo del caudal de escorrentía de diseño, así como los métodos a aplicar para este cálculo según los tipos de cuenca analizadas.

### 4.1.1. Análisis Morfométrico

Mediante este análisis cuantitativo se busca conocer las características físicas de las áreas aferentes de las estructuras hidráulicas. Es necesario realizar la delimitación de las áreas tributarias de las estructuras analizadas; en este caso este ejercicio se realiza en función del comportamiento de drenaje de las zonas de influencia.

Es necesario conocer las diferentes geoformas y comportamiento topográfico de la zona de influencia en función de los puntos de análisis. Para tal fin, esta consultoría descargará un modelo digital de elevaciones (DEM) ALOS PALSAR de la página web ASF Data Search Vertex (NASA, 2010) con tamaño de píxel de 12.5 x 12.5 metros, el cual será reproducido en el software Global Mapper. Posteriormente, se generarán los contornos del DEM con el fin de delimitar la cuenca hidrográfica, la cual tiene un impacto directo en el análisis hidrológico. Este archivo se exportará a Google Earth, en donde se realizará un chequeo del relieve y se definirá de manera precisa el área de las cuencas hidrográficas y sus cauces principales.

### 4.1.2. Análisis Pluviométrico

Durante el análisis pluviométrico se consultará en la página web DHIME del IDEAM (IDEAM, 2024) las estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio que cuenten con datos de precipitación máxima en 24 horas a escala multianual para el periodo de internes (últimos 15 a 30 años), estos datos serán descargados para cálculo de la precipitación máxima en 24 horas promedio, dato que será ingresado en la elaboración de las curvas IDF.

### 4.1.3. Elaboración de curvas IDF

Las curvas IDF se definen como la representación gráfica de una intensidad de precipitación (mm/h) que puede variar durante la duración de una tormenta, para una duración en intervalos iguales en minutos u horas desde el inicio hasta el fin de la lluvia asociado a un periodo de retorno llamado frecuencia. Se elaboran con información de precipitaciones obtenidas de estaciones meteorológicas, ya sea información de

pluviogramas, pluviógrafos o mapas isoyetales, y son de gran importancia para el diseño de estructuras hidráulicas ya que permiten calcular la intensidad de precipitación, la variable seleccionada para este proceso es la precipitación media, debido a que esta es la variable que mejor se ajusta con a ubicación meteorológica del proyecto.

En este caso, para la elaboración de las curvas IDF se utilizará la ecuación sintética de Díaz – Granados (**Ecuación 1)** para la región caribe a con sus respectivos coeficientes de regresión obtenidos por los autores mencionados.

$$I = a\,\frac{T^b}{t^c}\,M^d$$

**Fuente: (Vargas & Díaz - Granados, 1998)**

**Ecuación 1. Regionalización de Intensidad.**

| Coeficientes de Regresión - Región Caribe | | | |
|---|---|---|---|
| **a** | **b** | **c** | **d** |
| 24.85 | 0.22 | 0.5 | 0.1 |

**Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados**

**Tabla 2. Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe.**

Dónde:

- I = Intensidad de precipitación (mm/h)
- T = Periodo de retorno (años)
- t = Tiempo de duración (min)
- M = Precipitación media en 24 horas (mm)
- a, b, c, d: coeficientes de regresión para la región de interés (**Tabla 2**)

### 4.1.4. Tiempo de concentración

Se refiere al tiempo mínimo necesario para que los diferentes puntos espaciales de un área de drenaje estén aportando las escorrentías superficiales y de forma simultánea a un punto de salida o de convergencia hidráulica de la cuenca. El cálculo del tiempo de concentración permite dimensionar estructuras hidráulicas como canales abiertos o tuberías, siendo una variable sumamente importante para la determinación del caudal, ya sea por el método racional o el método de la curva. Por tanto, diferentes autores al entender la importancia de este parámetro a la hora de evaluar el Tc en el diseño hidrológico desarrollaron diferentes modelos empíricos para la estimación de este parámetro.

Las fórmulas que actualmente se utilizan para el cálculo del tiempo de concentración tienen uso específico según el tipo de cuenca donde se va a emplear, tamaño de la cuenca, pendiente de la misma y variables de cobertura y precipitación; sin embargo, la precisión a la hora de calcular el caudal puede variar considerablemente por la variabilidad que se da en el resultado entre una y otra ecuación. La variable tiempo de concentración será utilizada en el método racional en el cálculo de la intensidad de precipitación y posteriormente el caudal de escorrentía.

La estimación del Tc de las diferentes áreas de drenaje se calcula con el promedio de diferentes modelos utilizados para el cálculo de esta variable. **Si durante el proceso de cálculo del tiempo de concentración, el valor hallado es inferior a 10 min, se debe seleccionar como mínimo 10 min para no sobre estimar el valor de la intensidad de precipitación, ya que 10 min se considera el valor crítico del Tc según las**

**recomendaciones dadas por el Manual de Drenaje Vial** (Ministerio de Transporte de Colombia, 2009). En la **Tabla 5** se presentan las diferentes ecuaciones aplicadas durante el cálculo del tiempo de concentración para zonas urbanas.

### 4.1.5. Periodo de retorno de estudio

El tiempo o periodo de retorno es un evento con una magnitud dada que puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada, es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su periodo de retorno, como se muestra en la **Ecuación 2**.

$$P(X \geq X_T) = \frac{1}{T}$$

**Ecuación 2. Determinación del Tiempo de Retorno.**
**Fuente: (Chow V. T., 1994).**

Conforme a lo anterior, se deduce que el periodo o tiempo de retorno está asociado a eventos hidrológicos máximos al tiempo esperado máximo en años para que el caudal pico de la creciente sea igualado o excedido, por tal motivo está mancomunado al análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas. Por otra parte, **según la normatividad presentada los periodos de retornos son asociados y/o seleccionados a las características de la estructura hidráulica a construir**. **Por tanto, tal selección se realizará en función de las condiciones de drenaje y las clasificaciones establecidas** en la **Tabla 3** y **Tabla 4**.

| PERIODOS DE RETORNO - MANUAL DE DRENAJE VIAL | |
|---|---|
| **Tipo de Obra** | **Tr (años)** |
| Cunetas | 5 |
| Zanjas de Coronación | 10 |
| Estructuras de Caída | 10 |
| Alcantarillas 0.90 m | 10 |
| Alcantarillas > 0.90 m | 20 |
| Puentes Luz < 10 m | 25 |
| Puentes 10 m < luz < 50 m | 50 |
| Puentes luz ≥ 50 m | 100 |
| Drenaje Subsuperficial | 2 |

**Tabla 3. Períodos de retorno recomendados según obra de drenaje vial.**
**Fuente: Tabla 2.8 manual de drenaje vial INVIAS.**

| Características del Área de Drenaje | Tiempo o Periodo de Retorno (años) |
|---|---|
| Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas. | 3 |
| Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas. | 5 |
| Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas. | 5 |
| Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 hectáreas. | 10 |
| Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas. | 50 |
| Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas. | 100 |
| Canales abiertos en zonas montañosas (altas velocidades) o media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas. | 100 |

**Tabla 4. Períodos de retorno recomendados según área de drenaje.**
**Fuente: Resolución 0330 de 2017.**

| Ecuación | Formulación | Variables | Aplicaciones, limitaciones y consideraciones de resultados obtenidos |
|---|---|---|---|
| Ecuación de Kirpich (Kirpich, 1940). | $Tc = 0.0663 \left(\frac{Ls^2}{Sc}\right)^{0.385}$ | Tc = Tiempo de concentración (hr)<br>Ls = Longitud del cauce (km)<br>Sc = Pendiente media del cauce (m/m) | Kirpich (1940) calibró dos modelos empíricos para estimar el tiempo de concentración en pequeñas cuencas en Pensilvania y Tennessee, con áreas que variaban entre 0,4 y 45,3 ha, con pendientes media entre 3% y 10%. McCuen et al. (1984) demostró que este método tuvo tendencia a subestimar el Tc en un 75% en cuencas urbanizadas con área entre 8 y 16 km$^2$, en las cuales predominaba el flujo de canal. Gericke, O. J., & Smithers, J. C. (2016), demostraron que al emplear esta ecuación en cuencas con áreas que variaban entre 17.35 y 598 km$^2$, y pendiente media entre 0.0173 y 0.1029 m/m, obtuvieron los sesgos positivos más pequeños (error medio de 16.8 horas y desviación estándar de 37.1%). |
| California Culvert Practice (California Division of Highways 1960) | $Tc = 0.951 Ls^{1.155} \Delta H^{-0.385}$ | Tc = Tiempo de concentración (hr)<br>ΔH = diferencia elevación del canal principal (m)<br>Ls = Longitud del cauce (km) | Método desarrollado por la división de carreteras de california (1960), para pequeñas cuencas montañosas de California (Sharifi & Hosseini, 2011) y se obtuvo con datos de pequeñas cuencas en los EE.UU. con áreas menores de 40.47km$^2$ (Kaufmann, Almeida, Anache, Steffen, & Alves, 2014). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por Ravazzani, G., Boscarello, L., Cislaghi, A., & Mancini, M. (2019), donde estimaron el tiempo de concentración en 46 cuencas de del rio Po con areas entre 56 y 1.588 km$^2$ y pendientes de terrenos montañosos con variaciones entre 0.022 y 0.268 m/m. Los resultados mostraron valores de EMC = 8.21 horas, valores que en términos generales subestimaron moderadamente los valores del Tc, sin ser el peor ni el mejor resultado. |
| Método de Carter (Carter, 1961) | $Tc = 0.0977 Ls^{0.6} Sc^{-0.3}$ | Tc = Tiempo de concentración (hr)<br>Ls = Longitud del cauce (km)<br>Sc = Pendiente media del cauce (m/m) | Método desarrollado para cuencas urbanas con áreas menores de 20,8 km$^2$ y canales con longitud inferior a 11,3 km (Sharifi & Hosseini, 2011). Se recomienda para cuencas cuyo cauce principal tiene un flujo de canales naturales n entre 0.013 y 0.025, (Salimi, E. T. 2017), de ALMEIDA, I. K., ALMEIDA, A. K., ANACHE, J. A. A., STEFFEN, J. L., & SOBRINHO, T. A. (2014), afirman que esta ecuación se desarrolló a partir de datos de cuencas urbanas. |

| Ecuación | Formulación | Variables | Aplicaciones, limitaciones y consideraciones de resultados obtenidos |
|---|---|---|---|
| Método TxDOT (1994). | $Tc = 0.369986(1.1 - C)Ls^{0.5}Sc^{-0.333}$ | Tc = Tiempo de concentración (hr)<br>Ls = Longitud del cauce (km)<br>Sc = Pendiente media del cauce (m/m)<br>C = Coeficiente de escorrentía método Racional | Resulta de la modificación al modelo del método de la agencia federal de aviación (FAA, 1970) (Citado en (Li & Chibber, 2008). El departamento de transporte de Texas (TxDOT), adoptó en su manual de diseño hidráulico, la metodología planteada anteriormente para estimar el Tc en cuencas de la región de Texas (Fang, Thompson, Cleveland, & Pradhan, Variations of Time of Concentration Estimates Using NRCS Velocity Method, 2007). Li, M. H., Chibber, P., & Cahill, A. T. (2005) emplearon esta ecuación para comparar el valor del Tc con los resultados obtenidos del tiempo de viaje en una pista de prueba de escorrentia por impulso para la cual hallaron una ecuación. Concluyen que el metodo TxDOT tiende a sobre estimar el valor del Tc, arrojando resultados más bajos en superficies de arcilla, asfalto y concreto, mientras que el grupo más alto indica el resultado en pastos. |
| Simas - Hawkins (2002, Fang (2008) | $Tc = \frac{0.322A^{0.594}}{Ls^{0.594}Sc^{0.15}} \left[\frac{25400}{CN} - 254\right]^{0.313}$ | Tc = Tiempo de concentración (hr)<br>A= Area de la cuenca en (Km2)<br>Ls = Longitud del cauce (km)<br>Sc = Pendiente media del cauce (m/m)<br>CN = Número de curva | Método desarrollado en 168 cuencas de los Estados Unidos con áreas entre 0.001 y 14 km$^2$. de ALMEIDA, I. K., ALMEIDA, A. K., ANACHE, J. A. A., STEFFEN, J. L., & SOBRINHO, T. A. (2014), en su estudio utilizaron en una cuenca hidrográfica 30 metodologías empíricas para el cálculo del Tc, dentro de las cuales, el método de Simas - Hawkins fue clasificado en un grupo en el cual esta ecuación es apropiada para cuencas naturales. |
| Ecuación de Ventura (Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013) | $Tc = 0.067 \frac{Ls^{1.155}}{\left(\frac{\Delta H}{1000}\right)^{0.385}}$ | Tc = Tiempo de concentración (hr)<br>Ls = Longitud del cauce (km)<br>ΔH = Desnivel de la cuenca (km) | Esta ecuación es aplicable a cuencas pequeñas (Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013). Los autores encontraron que, en una de las cuencas de estudio, la cual se subdividió en 6 subcuencas con pendientes que oscilaban entre 0.002627 y 0.024079 m/m y longitud del cauce principal entre 52.389 y 13.345 km, el método de Venturas, fue el segundo con mejores resultados con un valor del EMC de 2 horas. Esta ecuación es utilizada en flujo de canales. |

**Tabla 5. Determinación del Tiempo de Concentración (Tc) para proyectos urbanísticos.**
**Fuente: elaboración propia.**

### 4.1.6. Cálculo de Caudal por Método Racional

Es una metodología de modelo lluvia-escorrentía, basado en modelos de abstracción con un raciocinio simple, el cual será aplicado en cuencas menores de 200 ha como se recomienda en el Manual de Drenaje para Carreteras (Ministerio de Transporte de Colombia, 2009). Para la estimación del caudal por este método, se debe emplear la **Ecuación 3**.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

**Ecuación 3. Caudal de escorrentía por el método racional.**
**Fuente: (Monsalve Sáenz, 1999)**

Donde:

- Q = Caudal de escorrentía en (m3/s)
- I = Intensidad de precipitación en (mm/h)
- C = Coeficiente de escorrentía
- A = Área de la cuenca en (km2)

#### 4.1.6.1. Coeficiente de escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía C es la variable más sensible en la aplicación del método racional, ya que incide en la tasa de escorrentía pico en relación con la tasa de lluvia para el área de drenaje. La selección del coeficiente de escorrentía se realizó en función del período de retorno, la cual se determina en función de las características de la superficie del área; el valor para la cobertura del suelo se obtiene de la **Tabla 6**, en donde se observa que el coeficiente de escorrentía está asociado al periodo de retorno.

| **Coeficientes de Escorrentía para ser usados en el Método Racional** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Características de la Superficie** | **Periodo de Retorno (años)** | | | | | |
| | **2** | **5** | **10** | **25** | **50** | **100** |
| ***Áreas Desarrolladas*** | | | | | | |
| Asfáltico | 0.73 | 0.77 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.95 |
| Concreto / Techo | 0.75 | 0.80 | 0.83 | 0.88 | 0.92 | 0.97 |
| **Zonas Verdes (jardines, parques, etc)** | | | | | | |
| *Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)* | | | | | | |
| Plano (0 - 2%) | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 |
| Promedio (2 - 7%) | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.53 |
| Pendiente superior a 7% | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.49 | 0.52 | 0.55 |
| *Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)* | | | | | | |
| Plano (0 - 2%) | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 |
| Promedio (2 - 7%) | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.38 | 0.45 | 0.49 |
| Pendiente superior a 7% | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.42 | 0.49 | 0.53 |
| *Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)* | | | | | | |
| Plano (0 - 2%) | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.29 | 0.32 | 0.36 |
| Promedio (2 - 7%) | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.42 | 0.46 |
| Pendiente superior a 7% | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.51 |
| ***Áreas No Desarrolladas*** | | | | | | |
| *Áreas de Cultivos* | | | | | | |
| Plano (0 - 2%) | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 |
| Promedio (2 - 7%) | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.48 | 0.51 |
| Pendiente superior a 7% | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.54 |

| Coeficientes de Escorrentía para ser usados en el Método Racional | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Características de la Superficie | Periodo de Retorno (años) | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| *Áreas Desarrolladas* | | | | | | |
| *Pastizales* | | | | | | |
| Plano (0 - 2%) | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 |
| Promedio (2 - 7%) | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 |
| Pendiente superior a 7% | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 |
| *Bosques* | | | | | | |
| Plano (0 - 2%) | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.39 |
| Promedio (2 - 7%) | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 |
| Pendiente superior a 7% | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.52 |

**Tabla 6. Valores de coeficiente de escorrentía referencia.**

**Fuente: Tabla 15.1.1 Ven T Chow (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 2000).**

#### 4.1.6.2. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación se define como la tasa promedio de lluvia en (mm/h) para una cuenca o microcuenca de drenaje, se define de manera particular para cada área y se selecciona con base en la selección de la lluvia de diseño para un periodo de retorno específico. En este caso particular, la selección de la intensidad de precipitación será calculada de la ecuación sintética de Díaz-Granados presentada en el **numeral 4.1.3**.

### 4.2. Dimensionamiento Hidráulico de Estructuras

Para realizar el análisis hidráulico se debe conocer las variables fundamentales, ya sean variables dependientes o independientes. De igual forma, se debe conocer el intervalo de las magnitudes con que se debe calcular o estimar en el diseño hidráulico para garantizar el buen funcionamiento de la zona.

#### 4.2.1. Parámetros Generales

##### 4.2.1.1. Velocidad máxima permitida

Obedece a velocidades máximas permitidas para evitar que se presente el fenómeno de la erosión en el cuerpo de la cuenca. El control de velocidad se realiza en función del caudal de diseño obtenido durante la modelación hidráulica por medio de la **Ecuación 4** y tomando los valores de referencia de la **Tabla 7**.

$$V = \frac{1}{n} R(h)^{2/3} \sqrt{S}$$

**Ecuación 4. Fórmula de Manning.**

**Fuente: (Chow V. , Hidráulica de Canales Abiertos, 1959)**

| Material | Velocidad Máxima (m/s) |
|---|---|
| Ladrillo común | 3.0 |
| Ladrillo vitrificado | 5.0 |
| Arcilla vitrificada (gres) | 4.0 |
| Concreto 175 kg/cm² | 6.0 |
| Concreto 210 kg/cm² | 10.0 |
| Concreto 280 kg/cm² | 15.0 |
| Concreto 350 kg/cm² | 20.0 |

**Tabla 7. Valores máximos de velocidades en canales revestidos.**

**Fuente: Tabla 4.2 Manual de drenaje vial INVIAS.**

#### 4.2.1.2. Coeficiente de rugosidad (n)

El coeficiente de rugosidad se selecciona en función de la cobertura del suelo y se toma como referencia de los valores establecidos en la Tabla 8**.**

| Rugosidad de Manning para Canales Abiertos | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo de Canal y Descripción** | **Mínimo** | **Normal** | **Máximo** |
| ***Corrientes Naturales*** | | | |
| ***Corrientes Menores (ancho superficial en nivel creciente < 31 metros)*** | | | |
| *a. corrientes en planicies* | | | |
| 1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos. | 0.025 | 0.030 | 0.033 |
| 2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas. | 0.030 | 0.035 | 0.040 |
| 3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena. | 0.033 | 0.040 | 0.045 |
| 4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras. | 0.035 | 0.045 | 0.050 |
| *b. concreto* | | | |
| 1. Alcantarilla, recta y libre de basuras. | 0.010 | 0.011 | 0.013 |
| 2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras. | 0.011 | 0.013 | 0.014 |
| 3. Bien terminado. | 0.011 | 0.012 | 0.014 |
| 4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc, recto. | 0.013 | 0.015 | 0.017 |
| 5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico. | 0.012 | 0.013 | 0.014 |
| 6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa. | 0.012 | 0.014 | 0.016 |
| 7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa. | 0.015 | 0.017 | 0.020 |

**Tabla 8. Valores de coeficiente de rugosidad.**
**Fuente: Tabla 5.6 (Chow V. , Hidráulica de Canales Abiertos, 1959).**

#### 4.2.1.3. Caudal de diseño

Los caudales de diseño se extraen del análisis hidrológico previamente realizado.

### 4.2.2. Análisis Hidráulico De La Sección Vial

Una vez realizado el análisis hidrológico de la zona de estudio y calculado el caudal de escorrentía que será transportado por cada tramo vial, se procederá a realizar el análisis hidráulico de los tramos mencionados con el fin de garantizar el buen funcionamiento con relación a la capacidad hidráulica de la sección transversal de la vía extraída del insumo del diseño geométrico.

Con esto se buscará valorar la capacidad hidráulica de las secciones trasversales de los diferentes alineamientos, tal procedimiento se realizará calculando el tirante normal en función del factor de sección de flujo uniforme, **Ecuación 5**. La ecuación para el cálculo del factor de sección se reduce desde la ecuación de Manning para flujo uniforme, **Ecuación 6.**

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3}\sqrt{S}$$

**Ecuación 5. Fórmula de Manning.**
**Fuente: (Chow V. , Hidráulica de Canales Abiertos, 1959).**

Donde

- Q = Caudal en ($m^3/s$)
- A = Área de la sección de flujo de agua ($m^2$)

Como el caudal es un valor conocido al ser calculado previamente, el área hidráulica y la pendiente se conoce del diseño geométrico y el coeficiente de rugosidad del diseño de pavimento, se aplica la **Ecuación 6** donde el área y radio hidráulico se encuentran en función del tirante.

$$A * R^{2/3} = \frac{Q * n}{\sqrt{S}}$$

**Ecuación 6. Fórmula de Factor de Sección.**
**Fuente: (Chow V. , Hidráulica de Canales Abiertos, 1959).**

Esta misma ecuación aplica para el pre-dimensionamiento de estructuras hidráulicas tipo cárcamos, en los cuales se realizan los ajustes pertinentes en la información de geometrías hidráulicas.

### 4.2.3. Cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros

Los sumideros son estructuras diseñadas para captar el agua de escorrentía que recorre las cunetas o las calzadas en las vías, para ser entregadas a las estructuras de recolección que se propongan. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000, pág. 12)

En la normatividad colombiana se presentan 3 tipos de sumideros, los cuales pueden ser utilizados de forma combinada (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000, pág. D.88)

- **Sumidero de ventana**

Consiste en una abertura en la acera a manera de ventana lateral que permite la captación de agua que fluye por la cuneta. La ventana puede estar deprimida con respecto a la cuneta, lo cual permite mayor captación de escorrentía. Tiene la ventaja de que por su ubicación no interfiere con el tránsito, pero su mayor inconveniente radica en que captan fácilmente sedimentos y desperdicios. Esto último puede mitigarse con la colocación de rejillas en la ventana. Su eficiencia hidráulica disminuye si no existe depresión en la cuneta o si se encuentra localizado en cunetas con pendiente longitudinal pronunciada. Su longitud mínima es de 1,5 m, la depresión transversal debe tener un ancho entre 0,3 a 0,6 m con una pendiente hasta de 8%. No es recomendable su uso en calles con pendientes longitudinales mayores al 3%, su cálculo se realiza utilizando la Ecuación 7.

$$Q1 = L * k * y_a * \sqrt{g * ya}$$

**Ecuación 7. Cálculo del caudal de captación para un sumidero de ventana sin depresión.**
**Fuente: (Empresas Públicas de Medellín. E.S.P., 2013)**

Donde:

- Q1 = caudal de captación del sumidero (m3/s)
- L = longitud de la ventana (m)
- ya = altura del flujo de aproximación (m)
- g = aceleración de la gravedad (m/s2)

- k = coeficiente de captación (-)

➢ **Sumidero de rejillas en cunetas**

Consiste en una caja donde penetran las aguas de escorrentía, cubierta con una rejilla, preferiblemente con barras en sentido paralelo al flujo, aunque pueden colocarse de manera diagonal para favorecer el tránsito de bicicletas, a menos que la separación de las barras paralelas al flujo sea de menos de 2,5 cm. Su mayor ventaja radica en su mayor capacidad de captación en pendientes longitudinales pronunciadas de las calles. Sin embargo, tiene la desventaja de que pueden captar desperdicios que reducen el área útil de la rejilla. El cálculo de la longitud de sus rejillas se hace mediante la Ecuación 8.

$$Lo = K * ya * \frac{va}{\sqrt{g * ya}}$$

**Ecuación 8. Cálculo de la longitud mínima para las rejillas.**
**Fuente: (Empresas Públicas de Medellín. E.S.P., 2013)**

Donde:

- Lo = longitud mínima de las rejillas (m)
- K = coeficiente que depende de la geometría de la rejilla y de la separación entre barras
- ya = altura del flujo de aproximación (m)
- va = velocidad de aproximación (m/s)
- g = aceleración de la gravedad (m/s)

➢ **Sumidero de rejillas en calzada**

- consiste en una caja transversal a la vía y a todo lo ancho de ésta, cubierta con rejillas. Su mayor inconveniente es el daño frecuente por el peso de los vehículos y la captación de desperdicios que reducen su área de captación de flujo. La longitud de sus rejillas se calcula mediante la Ecuación 9.

$$L = \frac{Q * Fs}{e * c * b * (2 * g * E)^{0,5}}$$

**Ecuación 9. Ecuación para el diseño de sumideros transversales, o de rejillas en calzada.**
**Fuente: (Empresas Públicas de Medellín. E.S.P., 2013, pág. 8/130)**

Donde:

- $L$ = longitud de la rejilla (m)
- $Q$ = caudal de diseño (m3/s)
- $e$ = eficiencia que corresponde al área libre / área total
- $c$ = coeficiente de descarga.
- $b$ = ancho del sumidero transversal (m)
- $E$ = energía específica sobre la reja (m)
- $Fs$ = factor de seguridad igual (1.5 a 2)

### 4.2.4. Modelación Hidráulica con HY8

El Software programa HY8 es una herramienta integral para el análisis y diseño de estructuras de drenaje y alcantarillado, precisamente Box Culvert y Alcantarillas, proporcionando capacidades avanzadas para modelar el flujo de agua, evaluar el rendimiento de estructuras hidráulicas y garantizar el cumplimiento de normativas. El cual, permitirá evaluar aspectos claves como la capacidad de carga, el dimensionamiento adecuado y la estabilidad estructural simulando el comportamiento del flujo de agua a través de sistemas de drenaje, considerando variables como la pendiente, el diámetro del conducto y las características del terreno. Esto permitirá prever posibles problemas como el desbordamiento o la obstrucción.

El software utiliza una variedad de ecuaciones y métodos basados en la hidráulica de flujo abierto y cerrado para evaluar el comportamiento del flujo a través de alcantarillas.

- Ecuaciones de flujo uniforme y no uniforme: utiliza la ecuación de Manning para flujos uniformes en canales abiertos y conductos parcialmente llenos.
- Ecuaciones de Pérdidas por entrada y salida: Basadas en coeficientes empíricos que dependen del tipo de entrada y de la geometría de la estructura.
- Ecuaciones de Pérdidas por fricción: Calculadas usando la ecuación de Manning o ecuaciones específicas para flujo cerrado.
- Ecuaciones de control de flujo: Teniendo en cuenta si la capacidad de la estructura está controlada por la entrada o por la salida.
- Métodos de diseño basados en el régimen de flujo: esto es determinado cuando la estructura esté completamente llena (flujo a presión – sumergido) o en caso contrario, que esté parcialmente llena donde el flujo es impulsado parcialmente por la gravedad (flujo libre).
- Ecuaciones de continuidad y energía: Para balancear el caudal y la energía en diferentes secciones de la alcantarilla, incluyendo cambios en la pendiente y en las características del flujo.

Para la implementación de dicho Software será necesario definir una serie de parámetros los cuales serán ingresados y servirá para el chequeo de las estructuras hidráulicas, en la **Tabla 9** se presenta las variables de diseño.

| VARIABLES DE DISEÑO |
|---|
| Tipo de estructura |
| Tipo Área (Google Earth) |
| Abscisas de localización de estructuras |
| Caudal de diseño (Desing Flow) (m3/s) |
| Geometría del canal (Channel Type) |
| Ancho de la base del canal a la salida (Botton Width) (m) |
| Relación del talud del canal (Side Slope) |

| VARIABLES DE DISEÑO |
|---|
| Pendiente dentro de la estructura (m/m) |
| Pendiente del canal aguas abajo (Channel Slope) (m/m) |
| Coeficiente de rugosidad del canal (Manning's Channel) |
| Cota a la salida de la estructura (Channel Invert Elevation) (msnm) |
| Abscisa de la estructura respecto a la vía (First Roadway Station) |
| Longitud de la cresta (Crest Lenght) (m) |
| Cota de la corona de la vía (Crest Elevation) (msnm) |
| Material carpeta de la estructura (Roadway Surface) |
| Ancho de la estructura sobre la vía (Top Width) (m) |
| Diámetro (Diameter) (mm) |
| Ancho de la estructura (Span) (mm) |
| Altura de la estructura (Rise) (mm) |
| Coeficiente de rugosidad de la estructura (Manning's) |
| Tipo de estructura (Culvert Type) = Side – Tapered |
| Angulo entre salida del agua y aleta (Tapered Inlet Edge) (26-45°) |
| Ancho final de aletas (Face Width) (mm) |
| Talud de las aletas (Side Taper 4:1 to 6:1) |
| Abscisa a la entrada de la estructura (Inlet Station) |
| Cota a la entrada de la estructura (Inlet Elevation) (msnm) |
| Abscisa a la salida de la estructura (Outlet Station) |
| Cota a la salida de la estructura (Outlet Elevation) (msnm) |
| Numero de cajones (Number of Barrels) |

**Tabla 9. Parámetros necesarios para análisis en HY-8.**
**Fuente: Elaboración propia.**

# 5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en los componentes hidrológicos e hidráulicos del proyecto. Se realiza un análisis para verificar la capacidad hidráulica de la vía y evaluar diversas estructuras proyectadas y existentes, que incluyen un box culvert existente en el alineamiento 2, un box culvert proyectado en el alineamiento 1, canales andén en los tres alineamientos y sumideros transversales en los puntos bajos del alineamiento 1 y 2. Las especificaciones de las estructuras propuestas se encuentran detalladas en el **Anexo 3.7.1 Planos de Diseño**.

## 5.1. Análisis Hidrológico

En este inciso se presentan los resultados obtenidos del análisis hidrológico.

### 5.1.1. Morfometría

En este inciso se presentan las áreas de drenaje y demás parámetros morfométricos obtenidos en el análisis hidrológico del proyecto. Cálculo de Parámetros Morfométricos para Cuencas de Estudio

Se realizó el cálculo de parámetros morfométricos en función de la definición de las áreas aferentes para las estructuras hidráulicas. Se presentan en la **Tabla 10** los parámetros morfométricos calculados para las diferentes cuencas delimitadas.

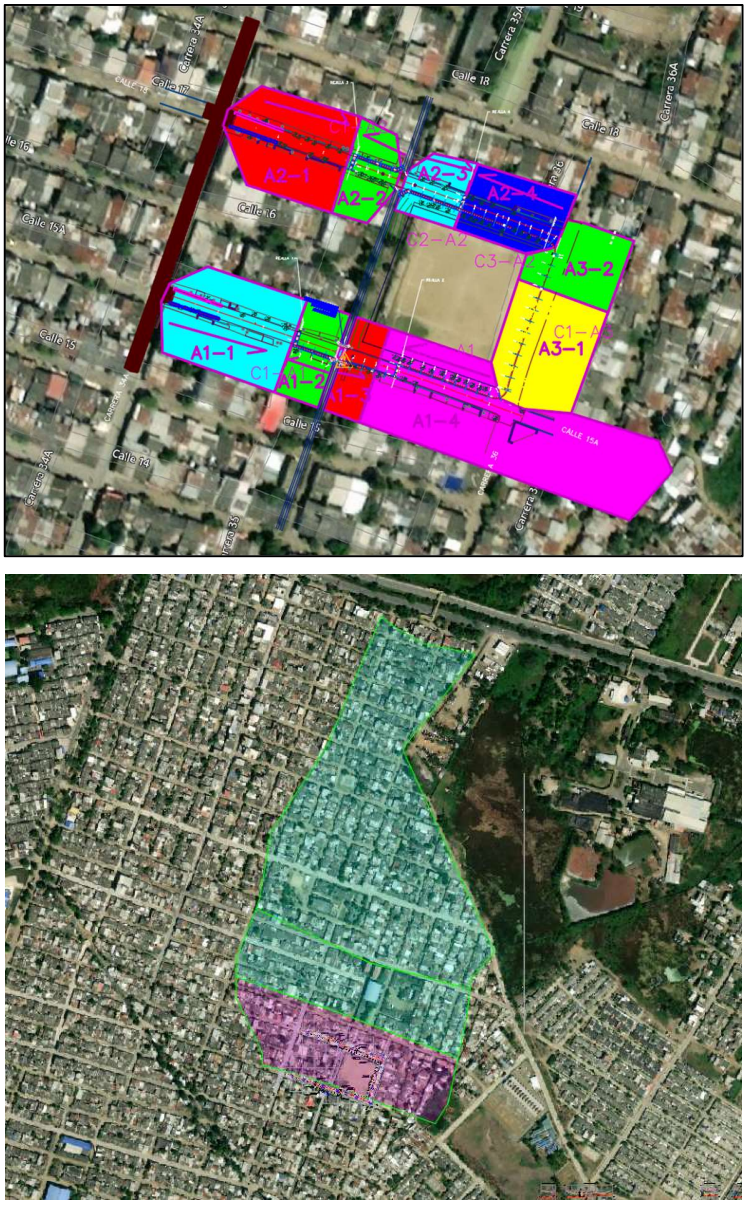



**Figura 4. Delimitación de Áreas de Drenaje.**
**Fuente: elaboración propia en Planos de Diseño.**

| Zona | Cuenca | Area (m²) | Área (km²) | Área (Ha) | Clasificación | Cálculo de Caudal | Lc (m) | Pendiente (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 2,154.45 | 0.002 | 0.215 | muy pequeña | **Racional** | 56.9 | 0.51% |
| | A1-2 | 788.07 | 0.001 | 0.079 | muy pequeña | **Racional** | 18.8 | 2.13% |
| | A1-3 | 631.57 | 0.001 | 0.063 | muy pequeña | **Racional** | 14.8 | 3.92% |
| | A1-4 | 4,554.20 | 0.005 | 0.455 | muy pequeña | **Racional** | 130.1 | 0.67% |
| | ABOX1 | 175,047.00 | 0.175 | 17.505 | muy pequeña | **Racional** | 812.0 | 0.65% |
| | ABOX2 | 218,453.00 | 0.218 | 21.845 | muy pequeña | **Racional** | 924.0 | 0.65% |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 2,002.23 | 0.002 | 0.200 | muy pequeña | **Racional** | 53.9 | 0.43% |
| | A2-2 | 799.03 | 0.001 | 0.080 | muy pequeña | **Racional** | 22.8 | 2.95% |
| | A2-3 | 698.64 | 0.001 | 0.070 | muy pequeña | **Racional** | 26.4 | 1.30% |
| | A2-4 | 1,228.56 | 0.001 | 0.123 | muy pequeña | **Racional** | 42.6 | 0.21% |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 1,855.16 | 0.002 | 0.186 | muy pequeña | **Racional** | 48.0 | 0.41% |
| | A3-2 | 1,084.52 | 0.001 | 0.108 | muy pequeña | **Racional** | 19.2 | 0.40% |

**Tabla 10. Parámetros morfométricos de las cuencas delimitadas.**
**Fuente: Elaboración propia**

### 5.1.2. Estación Meteorológica

La estación pluviométrica más cercana a los tramos viales de la zona de estudio es la Estación Boca de la Ceiba, cuyas características son presentadas en la **Tabla 11**. Durante el desarrollo, se consultó en la página web del IDEAM los valores de precipitaciones multianuales máximas en 24 horas.

| Características Estación Pluviométrica | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Estación** | **Código** | **Latitud** | **Longitud** | **Altitud** |
| BOCA DE LA CEIBA | 13070070 | 8.83 | -75.86 | 20 |

**Tabla 11. Estación pluviométrica seleccionada del área de estudio.**
**Fuente: DHIME (IDEAM, 2024).**

### 5.1.1. Cálculo de la precipitación media

Se seleccionaron los valores de precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica puesto que tiene mejor adaptación a las condiciones de la zona de estudio, debido que este proyecto se encuentra ubicado en una zona con latitud media, donde las lluvias ciclónicas tienen gran influencia en su comportamiento hidrológico, por consiguiente, al seleccionar la variable precipitación media se produce una mayor seguridad en el diseño. En la **Tabla 12** se presenta el cálculo de la precipitación media. En el **Gráfico 2** se observa el comportamiento de la probabilidad de ocurrencia (eje X) y las precipitaciones máximas en 24 horas en escala aritmética (eje Y).




**Figura 5. Localización de la Estación Pluviométrica con respecto a las vías de estudio. Fuente: elaboración propia con información del IDEAM.**

| Año | Días con Lluvia | Precipitación Max 24h |
|---|---|---|
| 1999 | 53 | 105.00 |
| 2000 | 73 | 130.00 |
| 2001 | 74 | 68.00 |
| 2002 | 73 | 70.00 |
| 2003 | 83 | 89.00 |
| 2004 | - | - |
| 2005 | 80 | 78.00 |
| 2006 | 76 | 90.00 |
| 2007 | 80 | 75.00 |
| 2008 | 77 | 110.00 |
| 2009 | 57 | 61.00 |
| 2010 | 75 | 97.00 |
| 2011 | 70 | 90.00 |
| 2012 | 73 | 90.00 |
| 2013 | - | - |
| 2014 | 42 | 135.00 |
| 2015 | 43 | 95.00 |
| 2016 | 56 | 95.00 |
| 2017 | 63 | 106.00 |
| 2018 | 54 | 85.00 |
| 2019 | 52 | 120.00 |
| 2020 | - | - |
| 2021 | 55 | 160.00 |

| Año | Días con Lluvia | Precipitación Max 24h |
|---|---|---|
| 2022 | 54 | 85.00 |
| 2023 | 36 | 80.00 |
| **Promedio** | **63.59** | **96.09** |

**Tabla 12. Cálculo de la precipitación media.**
**Fuente: (IDEAM, 2023)**

| Análisis para curvas IDF cálculos con curvas sintéticas región caribe (Díaz Granados) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo de Duracion en Horas (t) | | Periodo de Retorno en Años (TR) | | | | | | |
| Minutos | Horas | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | |
| 5.0 | 0.08 | 158.27 | 193.62 | 225.52 | 275.89 | 321.34 | 374.27 | INTENSIDAD DE LLUVIAS EN MM/HORAS |
| 10.0 | 0.17 | 111.92 | 136.91 | 159.47 | 195.08 | 227.22 | 264.65 | |
| 15.0 | 0.25 | 91.38 | 111.79 | 130.20 | 159.28 | 185.52 | 216.08 | |
| 20.0 | 0.33 | 79.14 | 96.81 | 112.76 | 137.94 | 160.67 | 187.13 | |
| 25.0 | 0.42 | 70.78 | 86.59 | 100.86 | 123.38 | 143.71 | 167.38 | |
| 30.0 | 0.50 | 64.62 | 79.05 | 92.07 | 112.63 | 131.18 | 152.80 | |
| 35.0 | 0.58 | 59.82 | 73.18 | 85.24 | 104.28 | 121.45 | 141.46 | |
| 40.0 | 0.67 | 55.96 | 68.46 | 79.73 | 97.54 | 113.61 | 132.32 | |
| 45.0 | 0.75 | 52.76 | 64.54 | 75.17 | 91.96 | 107.11 | 124.76 | |
| 50.0 | 0.83 | 50.05 | 61.23 | 71.32 | 87.24 | 101.62 | 118.35 | |
| 55.0 | 0.92 | 47.72 | 58.38 | 68.00 | 83.18 | 96.89 | 112.85 | |
| 60.0 | 1.00 | 45.69 | 55.89 | 65.10 | 79.64 | 92.76 | 108.04 | |
| 65.0 | 1.08 | 43.90 | 53.70 | 62.55 | 76.52 | 89.12 | 103.80 | |
| 70.0 | 1.17 | 42.30 | 51.75 | 60.27 | 73.73 | 85.88 | 100.03 | |
| 75.0 | 1.25 | 40.87 | 49.99 | 58.23 | 71.23 | 82.97 | 96.64 | |
| 80.0 | 1.33 | 39.57 | 48.41 | 56.38 | 68.97 | 80.33 | 93.57 | |
| 85.0 | 1.42 | 38.39 | 46.96 | 54.70 | 66.91 | 77.94 | 90.77 | |
| 90.0 | 1.50 | 37.31 | 45.64 | 53.16 | 65.03 | 75.74 | 88.22 | |
| 95.0 | 1.58 | 36.31 | 44.42 | 51.74 | 63.29 | 73.72 | 85.86 | |
| 100.0 | 1.67 | 35.39 | 43.30 | 50.43 | 61.69 | 71.85 | 83.69 | |
| 105.0 | 1.75 | 34.54 | 42.25 | 49.21 | 60.20 | 70.12 | 81.67 | |
| 110.0 | 1.83 | 33.74 | 41.28 | 48.08 | 58.82 | 68.51 | 79.79 | |
| 115.0 | 1.92 | 33.00 | 40.37 | 47.02 | 57.53 | 67.00 | 78.04 | |
| 120.0 | 2.00 | 32.31 | 39.52 | 46.03 | 56.32 | 65.59 | 76.40 | |
| 125.0 | 2.08 | 31.65 | 38.72 | 45.10 | 55.18 | 64.27 | 74.85 | |
| 130.0 | 2.17 | 31.04 | 37.97 | 44.23 | 54.11 | 63.02 | 73.40 | |
| 135.0 | 2.25 | 30.46 | 37.26 | 43.40 | 53.09 | 61.84 | 72.03 | |
| 140.0 | 2.33 | 29.91 | 36.59 | 42.62 | 52.14 | 60.73 | 70.73 | |
| 145.0 | 2.42 | 29.39 | 35.95 | 41.88 | 51.23 | 59.67 | 69.50 | |

| Análisis para curvas IDF cálculos con curvas sintéticas región caribe (Díaz Granados) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo de Duracion en Horas (t) | | Periodo de Retorno en Años (TR) | | | | | | |
| Minutos | Horas | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | |
| 150.0 | 2.50 | 28.90 | 35.35 | 41.17 | 50.37 | 58.67 | 68.33 | |
| 155.0 | 2.58 | 28.43 | 34.78 | 40.50 | 49.55 | 57.71 | 67.22 | |
| 160.0 | 2.67 | 27.98 | 34.23 | 39.87 | 48.77 | 56.80 | 66.16 | |
| 165.0 | 2.75 | 27.55 | 33.71 | 39.26 | 48.03 | 55.94 | 65.15 | |
| 170.0 | 2.83 | 27.14 | 33.21 | 38.68 | 47.31 | 55.11 | 64.19 | |
| 175.0 | 2.92 | 26.75 | 32.73 | 38.12 | 46.63 | 54.32 | 63.26 | |
| 180.0 | 3.00 | 26.38 | 32.27 | 37.59 | 45.98 | 53.56 | 62.38 | |
| Valores promedio serie histórica (mm) | | 96.09 | | | | | | |
| Coeficientes | a | 24.85 | | | | | | |
| | b | 0.22 | | | | | | |
| | c | 0.50 | | | | | | |
| | d | 0.10 | | | | | | |

**Tabla 13. Cálculo de intensidades regionalizadas para curvas IDF.**
**Fuente: Elaboración propia.**

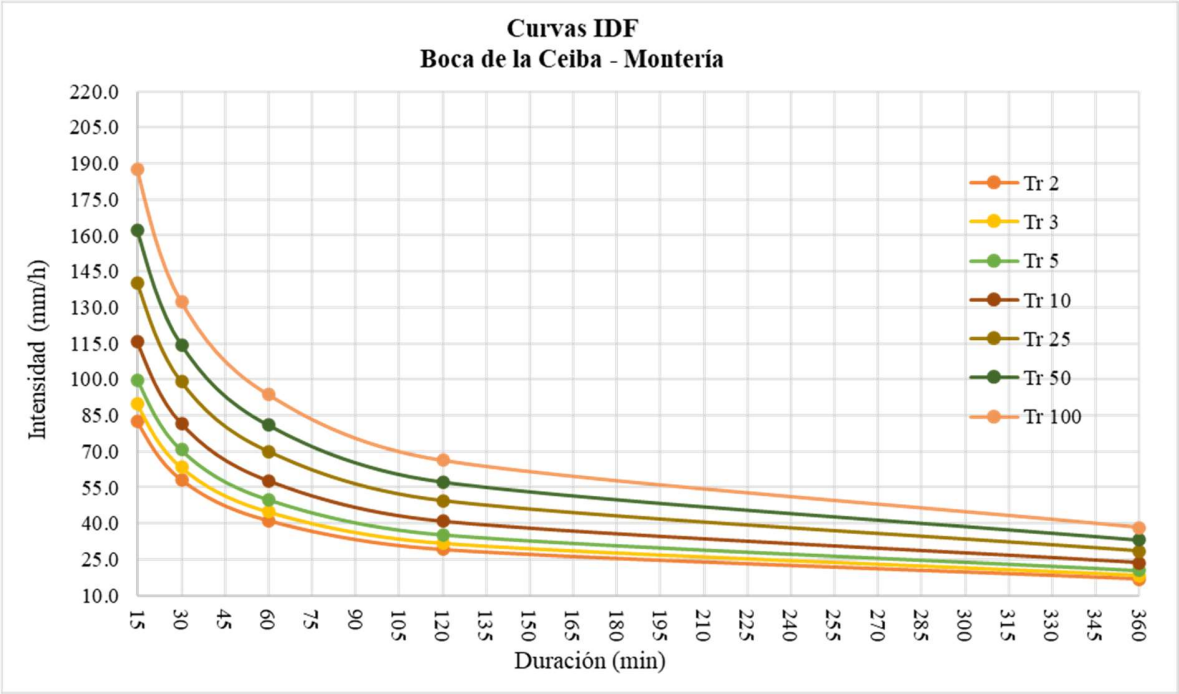



**Gráfico 2. Curvas IDF.**
**Fuente: Elaboración propia.**

### 5.1.2. Periodo de Retorno

En el **numeral 5.1.2** se presentaron las recomendaciones para la estimación de periodos de retorno según la normativa colombiana, teniendo en cuenta estos parámetros, se establecieron los siguientes periodos de retorno considerados por esta consultoría:

- Vías: 5 años.
- Box Culverts: 25 años
- Cárcamos y Sumideros: 5 años

### 5.1.3. Tiempos de Concentración

A continuación, en la **Tabla 15** se presentan los parámetros para el cálculo de los diferentes tiempos de concentración y en la **Tabla 16** se presentan los valores obtenidos, así como el valor seleccionado que corresponde al promedio de los 7 tiempos de concentración calculados.

### 5.1.4. Intensidad de Precipitación

En este caso particular, la selección de la intensidad de precipitación será calculada de la ecuación sintética de Díaz-Granados mencionada en el **inciso 4.1.3**.

| Zona | Área | Tc (h) | a | b | c | d | M (mm) | Caudales de Diseño | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Tr (años) | i (mm/h) |
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A1-2 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A1-3 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A1-4 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | ABOX1 | 0.43 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 25 | 120.95 |
| | ABOX2 | 0.48 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 25 | 115.28 |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A2-2 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A2-3 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A2-4 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |
| | A3-2 | 0.17 | 24.85 | 0.22 | 0.50 | 0.10 | 96.09 | 5 | 136.91 |

**Tabla 14. Cálculo de la intensidad de precipitación.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Cuenca | Cuenca | L. Cauce (m) | S (ad) | Δ de Elevación (m) | Área (m²) | Área Total (km²) | Ø Cuenca Circular (km) | Tr | n | C | i (mm/h) Tr2 - 10 min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 57 | 0.0051 | 0.29 | 2,154 | 0.002 | 0.05 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A1-2 | 19 | 0.0213 | 0.40 | 788 | 0.001 | 0.03 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A1-3 | 15 | 0.0392 | 0.58 | 632 | 0.001 | 0.03 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A1-4 | 130 | 0.0067 | 0.87 | 4,554 | 0.005 | 0.08 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | ABOX1 | 812 | 0.0065 | 5.28 | 175,047 | 0.175 | 0.47 | 25 | 0.020 | 0.88 | 158.275 |
| | ABOX2 | 924 | 0.0065 | 6.01 | 218,453 | 0.218 | 0.53 | 25 | 0.020 | 0.88 | 158.275 |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 54 | 0.0043 | 0.23 | 2,002 | 0.002 | 0.05 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A2-2 | 23 | 0.0295 | 0.67 | 799 | 0.001 | 0.03 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A2-3 | 26 | 0.0130 | 0.34 | 699 | 0.001 | 0.03 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A2-4 | 43 | 0.0021 | 0.09 | 1,229 | 0.001 | 0.04 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 48 | 0.0041 | 0.20 | 1,855 | 0.002 | 0.05 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |
| | A3-2 | 19 | 0.0040 | 0.08 | 1,085 | 0.001 | 0.04 | 5 | 0.020 | 0.83 | 158.275 |

**Tabla 15. Parámetros para Tiempos de Concentración.**
**Fuente: elaboración propia.**

| Cuenca | Cuenca | Kirpich (1940) | Johnstone y Cross (1949) | California Culvert (1960) | Dpto Obras Publicas (1995) | Williams Li y Chibber (2008) | Sheridan (1994 - 2010) | Ventura Heras (2013) | Tc Selec (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 3.33 | 10.86 | 3.34 | 3.33 | 4.36 | 1.87 | 2.38 | 10.00 |
| | A1-2 | 0.82 | 3.06 | 0.82 | 0.82 | 1.20 | 0.43 | 0.79 | 10.00 |
| | A1-3 | 0.54 | 2.00 | 0.54 | 0.54 | 0.86 | 0.29 | 0.59 | 10.00 |
| | A1-4 | 5.68 | 14.35 | 5.69 | 5.68 | 8.77 | 3.68 | 4.20 | 10.00 |
| | ABOX1 | 23.55 | 36.41 | 23.57 | 23.56 | 38.26 | 20.04 | 16.69 | 26.01 |
| | ABOX2 | 26.02 | 38.84 | 26.04 | 26.02 | 42.58 | 22.57 | 18.39 | 28.64 |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 3.41 | 11.50 | 3.42 | 3.41 | 4.31 | 1.88 | 2.36 | 10.00 |
| | A2-2 | 0.84 | 2.87 | 0.84 | 0.84 | 1.36 | 0.47 | 0.86 | 10.00 |
| | A2-3 | 1.29 | 4.65 | 1.29 | 1.29 | 1.88 | 0.69 | 1.12 | 10.00 |
| | A2-4 | 3.74 | 14.57 | 3.74 | 3.74 | 4.12 | 1.88 | 2.25 | 10.00 |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 3.18 | 11.11 | 3.18 | 3.18 | 3.90 | 1.71 | 2.18 | 10.00 |
| | A3-2 | 1.59 | 7.16 | 1.59 | 1.59 | 1.66 | 0.74 | 1.10 | 10.00 |

**Tabla 16. Cálculo de Tiempos de Concentración.**
**Fuente: elaboración propia.**

### 5.1.5. Estimación del caudal por el método racional

Para la modelación hidráulica, es necesario calcular el caudal de escorrentía en función de las variables obtenidas en los anteriores numerales. En la **Tabla 17** es presentado el cálculo de caudal de escorrentía de diseño por el método racional, para las áreas aferentes a las estructuras hidráulicas.

| Zona | Área | Área Total (km²) | L. Cauce (m) | S prom (%) | Tc (h) | Caudales de Diseño | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Tr (años) | C (ad) | i (mm/h) | Q (m³/s) |
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 0.0022 | 56.87 | 0.51% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.07** |
| | A1-2 | 0.0008 | 18.79 | 2.13% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.02** |
| | A1-3 | 0.0006 | 14.82 | 3.92% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.02** |
| | A1-4 | 0.0046 | 130.09 | 0.67% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.14** |
| | ABOX1 | 0.1750 | 812.00 | 0.65% | 0.43 | 25 | 0.80 | 120.95 | **4.71** |
| | ABOX2 | 0.2185 | 923.96 | 0.65% | 0.48 | 25 | 0.80 | 115.28 | **5.60** |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 0.0020 | 53.93 | 0.43% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.06** |
| | A2-2 | 0.0008 | 22.82 | 2.95% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.02** |
| | A2-3 | 0.0007 | 26.35 | 1.30% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.02** |
| | A2-4 | 0.0012 | 42.58 | 0.21% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.04** |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 0.0019 | 47.95 | 0.41% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.06** |
| | A3-2 | 0.0011 | 19.16 | 0.40% | 0.17 | 5 | 0.80 | 136.91 | **0.03** |

**Tabla 17. Cálculo de caudales por el método racional para estructuras hidráulicas.**
**Fuente: Elaboración propia.**

## 5.2. Análisis Hidráulico

En este inciso se presentan los resultados de los chequeos y modelaciones hidráulicas para los correspondientes periodos de retorno y caudales de escorrentía mencionados anteriormente.

### 5.2.1. Análisis Hidráulico de la sección vial

En la **Tabla 18** y **Tabla 19** se pueden observar los tramos seleccionados para el proceso de cálculo y análisis hidráulico. Adicional, en la tabla mencionada se evidencia la altura seleccionada del bordillo, cálculo del tirante normal, el cual en ningún momento excede la altura de este.

Las abscisas seleccionadas de cada tramo obedecen a puntos específicos como: punto bajo de curva cóncava, secciones transversales con bombeo lateral, abscisas con pendiente longitudinal constante y puntos de evacuación. Las abscisas seleccionadas de cada tramo obedecen a los puntos más críticos, donde se presenta la mayor acumulación de caudales.

| Zona | Áreas Tributarias | Qasc (m³/s) Tr 5 | Ancho de calle | Bombeo | Pendiente vía | Manning | Ah | Perimetro | Rh | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | B (m) | m/m | m/m | n | m² | P (m) | m | m/s |
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 0.07 | 5.50 | 2.00% | 0.013 | 0.020 | 0.16 | 5.62 | 0.03 | 0.55 |
| | A1-2 | 0.02 | | | | | | | | |
| | A1-3 | 0.02 | 5.50 | 2.00% | 0.023 | 0.020 | 0.20 | 5.63 | 0.04 | 0.81 |
| | A1-4 | 0.14 | | | | | | | | |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 0.06 | 5.50 | 2.00% | 0.017 | 0.020 | 0.15 | 5.61 | 0.03 | 0.58 |
| | A2-2 | 0.02 | | | | | | | | |
| | A2-3 | 0.02 | 5.50 | 2.00% | 0.008 | 0.020 | 0.15 | 5.61 | 0.03 | 0.39 |
| | A2-4 | 0.04 | | | | | | | | |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 0.06 | 6.00 | 1.50% | 0.004 | 0.020 | 0.24 | 6.13 | 0.04 | 0.37 |
| | A3-2 | 0.03 | | | | | | | | |

**Tabla 18. Chequeo del tirante en las vías parte 1.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Zona | Áreas Tributarias | Caudal Total | Caudal de Diseño | Capacidad | Froude | Tirante Crítico | Altura Bordillo | Revisión de Altura |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Q (m³/s) | Q (m³/s) | Q (m³/s) | | y (m) | (m) | |
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | A1-1 | 0.09 | 0.090 | **0.089** | 0.73 | 0.06 | **0.20** | OK |
| | A1-2 | | | | | | | |
| | A1-3 | 0.16 | 0.158 | **0.160** | 1.03 | 0.06 | **0.20** | OK |
| | A1-4 | | | | | | | |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | A2-1 | 0.09 | 0.085 | **0.085** | 0.79 | 0.05 | **0.20** | OK |
| | A2-2 | | | | | | | |
| | A2-3 | 0.06 | 0.059 | **0.059** | 0.53 | 0.05 | **0.20** | OK |
| | A2-4 | | | | | | | |
| A-3 Carrera 36 entre Cll 15a y 18 | A3-1 | 0.09 | 0.090 | **0.090** | 0.47 | 0.06 | **0.20** | OK |
| | A3-2 | | | | | | | |

**Tabla 19. Chequeo del tirante en las vías parte 2.**
**Fuente: Elaboración propia.**

De lo anterior se deduce, que la instalación del bordillo será a una altura de **20 cm** respecto al borde del pavimento con la finalidad de garantizar la capacidad hidráulica de la vía en función del tirante calculado asociado al periodo de retorno de **5 años**.

### 5.2.2. Dimensionamiento Hidráulico de Cárcamos

A continuación, en la **Figura 6** se presentan las dimensiones propuestas para los cárcamos. Estas dimensiones fueron verificadas en relación con su capacidad hidráulica, considerando el caudal asociado y la pendiente proyectada. Los resultados de esta verificación se detallan en la **Tabla 20** y **Tabla 21** Además, se utilizó el software de uso libre *Hydraulic Toolbox 5.4* para realizar un análisis adicional, el cual confirma que la profundidad de diseño planteada (0.40 m) proporciona un borde libre de al menos 6 cm respecto al tirante normal esperado en el cárcamo.

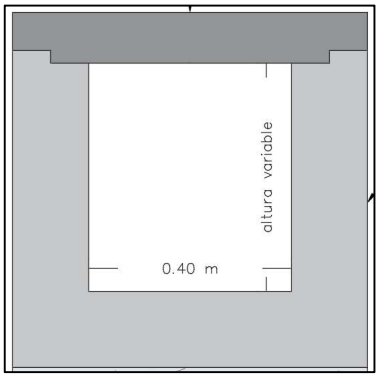



**Figura 6. Sección Típica Cárcamo Proyectado.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Zona | Estructura | Áreas Tributarias | Qasc (m³/s) | Seccion | SL | n | Z (1V:ZH) | b (m) | B (m) | Qd (m³/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A-1 Calle 15a entre Cra 34A y 36 | Cárcamo de Entrega 1 | A1-1 | 0.07 | Rectangular | 0.50% | 0.015 | 0.00 | 0.40 | 0.40 | **0.090** |
| | | A1-2 | 0.02 | | | | | | | |
| | Cárcamo de Entrega 2 | A1-3 | 0.02 | Rectangular | 0.50% | 0.015 | 0.00 | 0.40 | 0.40 | **0.158** |
| | | A1-4 | 0.14 | | | | | | | |
| A-2 Calle 18 entre Cra 34A y 36 | Cárcamo de Entrega 3 | A2-1 | 0.06 | Rectangular | 0.50% | 0.015 | 0.00 | 0.40 | 0.40 | **0.085** |
| | | A2-2 | 0.02 | | | | | | | |
| | Cárcamo de Entrega 4 | A2-3 | 0.02 | Rectangular | 0.50% | 0.015 | 0.00 | 0.40 | 0.40 | **0.059** |
| | | A2-4 | 0.04 | | | | | | | |

**Tabla 20. Determinación de Cárcamo Propuesto parte 1.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Factor Sección | FS | y (m) | V (m/s) | Rev. Vel | H Diseño (m) | Rev. Prof | Capacidad (m³/s) | FS | Rev. Capacidad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.019** | **0.020** | 0.22 | 1.01 | OK | 0.40 | **OK** | 0.197 | 2.20 | OK |
| **0.033** | **0.033** | 0.33 | 1.19 | OK | 0.40 | **OK** | 0.197 | 1.25 | OK |

| Factor Sección | FS | y (m) | V (m/s) | Rev. Vel | H Diseño (m) | Rev. Prof | Capacidad (m³/s) | FS | Rev. Capacidad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.018** | **0.018** | 0.21 | 1.04 | OK | 0.40 | **OK** | 0.197 | 2.31 | OK |
| **0.012** | **0.012** | 0.15 | 0.95 | OK | 0.40 | **OK** | 0.197 | 3.35 | OK |

**Tabla 21. Determinación de Cárcamo Propuesto parte 2.**
**Fuente: Elaboración propia.**

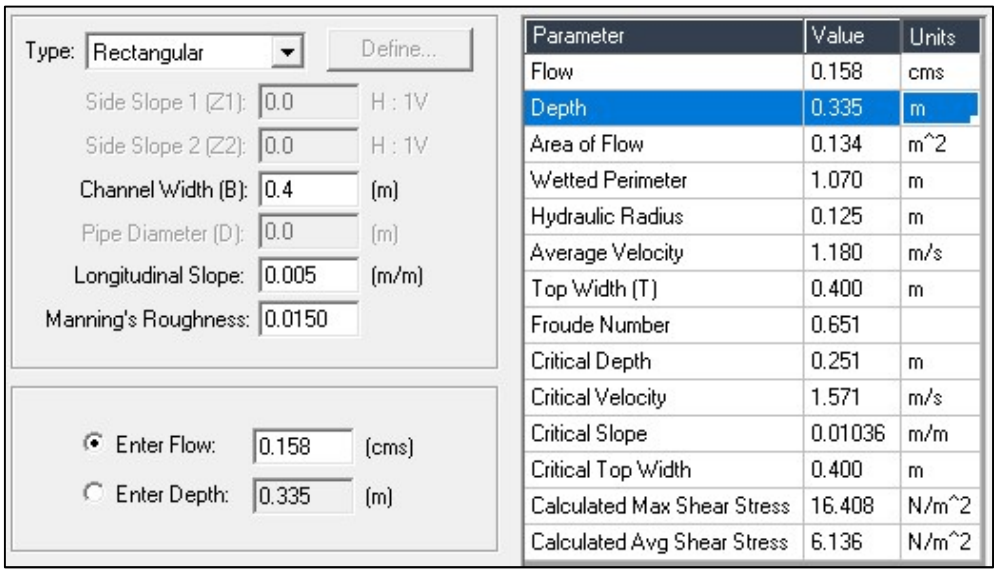



**Figura 7. Revisión de dimensiones hidráulicas propuestas.**
**Fuente: Elaboración propia en Hydraulic Toolbox 5.4.**

### 5.2.1. Análisis Hidráulico de Sumideros Transversales

Para evaluar la capacidad hidráulica del sumidero transversal proyectado en el punto más bajo del alineamiento 3, que actuará como captación de escorrentías y estará conectado al cárcamo propuesto, se utilizó la **Ecuación 9** obtenida del manual de diseño de alcantarillados pluviales de EPM. Se consideró un sumidero con una longitud de 5 metros y una abertura de 0.3 metros, correspondiente a rejillas de plástico reciclado de 0.9x0.5m. Se propone la instalación de tres rejillas de captación con una eficiencia del 0.37, las cuales serán capaces de drenar rápidamente al menos el 60% del caudal de escorrentía esperado para la sección vial, considerando un periodo de retorno estimado de 5 años.

| Datos de predimensionamiento de sumidero transversal #1 | | |
|---|---|---|
| Tirante sobre rejilla ($y_1$) | 0.06 | m |
| Profundidad sumidero ($y_2$) | 0.22 | m |
| Base (largo de rejilla) | 2.10 | m |
| Ancho (de la abertura) | 0.30 | m |
| Velocidad del flujo | 0.55 | m/s |

| Datos de predimensionamiento de sumidero transversal #1 | | | |
|---|---|---|---|
| Aceleración de la gravedad | | 9.81 | m/s² |
| **Eficiencia de rejillas propuestas** | | | |
| Ancho | | 0.90 | m |
| Longitud | | 0.50 | m |
| Cantidad de Rejillas | | 3.00 | und |
| Área libre | | 0.50 | m² |
| Área total | | 1.35 | m² |
| **Chequeo de capacidad Hidráulica - Sumidero Transversal #1** | | | |
| Caudal de Diseño (60% de caudal total) | | 0.054 | m³/s |
| e | | 0.373 | ad. |
| Coeficiente de descarga | | 0.623 | ad. |
| Energía específica sobre la rejilla | | 0.072 | m |
| FS | | 1.70 | ad. |
| **LONGITUD NECESARIA REJILLA** | **OK** | **1.10** | m |

**Tabla 22. Análisis hidráulico de rejilla de captación #1.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Datos de predimensionamiento de sumidero transversal #2 | | | |
|---|---|---|---|
| Tirante sobre rejilla ($y_1$) | | 0.06 | m |
| Profundidad sumidero ($y_2$) | | 0.33 | m |
| Base (largo de rejilla) | | 2.10 | m |
| Ancho (de la abertura) | | 0.30 | m |
| Velocidad del flujo | | 0.81 | m/s |
| Aceleración de la gravedad | | 9.81 | m/s² |
| **Eficiencia de rejillas propuestas** | | | |
| Ancho | | 0.90 | m |
| Longitud | | 0.50 | m |
| Cantidad de Rejillas | | 3.00 | und |
| Área libre | | 0.50 | m² |
| Área total | | 1.35 | m² |
| **Chequeo de capacidad Hidráulica - Sumidero Transversal #2** | | | |
| Caudal de Diseño (60% de caudal total) | | 0.095 | m³/s |
| e | | 0.373 | ad. |
| Coeficiente de descarga | | 0.623 | ad. |
| Energía específica sobre la rejilla | | 0.072 | m |
| FS | | 1.70 | ad. |
| **LONGITUD NECESARIA REJILLA** | **OK** | **1.93** | m |

**Tabla 23. Análisis hidráulico de rejilla de captación #2.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Datos de predimensionamiento de sumidero transversal #3 | | | |
|---|---|---|---|
| Tirante sobre rejilla ($y_1$) | | 0.05 | m |
| Profundidad sumidero ($y_2$) | | 0.21 | m |
| Base (largo de rejilla) | | 2.10 | m |
| Ancho (de la abertura) | | 0.30 | m |
| Velocidad del flujo | | 0.58 | m/s |
| Aceleración de la gravedad | | 9.81 | m/s² |
| **Eficiencia de rejillas propuestas** | | | |
| Ancho | | 0.90 | m |
| Longitud | | 0.50 | m |
| Cantidad de Rejillas | | 3.00 | und |
| Área libre | | 0.50 | m² |
| Área total | | 1.35 | m² |
| **Chequeo de capacidad Hidráulica - Sumidero Transversal #3** | | | |
| Caudal de Diseño (60% de caudal total) | | 0.051 | m³/s |
| e | | 0.373 | ad. |
| Coeficiente de descarga | | 0.623 | ad. |
| Energía específica sobre la rejilla | | 0.072 | m |
| FS | | 1.70 | ad. |
| **LONGITUD NECESARIA REJILLA** | **OK** | **1.04** | m |

**Tabla 24. Análisis hidráulico de rejilla de captación #3.**
**Fuente: Elaboración propia.**

| Datos de predimensionamiento de sumidero transversal #4 | | | |
|---|---|---|---|
| Tirante sobre rejilla ($y_1$) | | 0.05 | m |
| Profundidad sumidero ($y_2$) | | 0.15 | m |
| Base (largo de rejilla) | | 2.10 | m |
| Ancho (de la abertura) | | 0.30 | m |
| Velocidad del flujo | | 0.39 | m/s |
| Aceleración de la gravedad | | 9.81 | m/s² |
| **Eficiencia de rejillas propuestas** | | | |
| Ancho | | 0.90 | m |
| Longitud | | 0.50 | m |
| Cantidad de Rejillas | | 3.00 | und |
| Área libre | | 0.50 | m² |
| Área total | | 1.35 | m² |
| **Chequeo de capacidad Hidráulica - Sumidero Transversal #4** | | | |
| Caudal de Diseño (60% de caudal total) | | 0.035 | m³/s |
| e | | 0.373 | ad. |
| Coeficiente de descarga | | 0.623 | ad. |

| Datos de predimensionamiento de sumidero transversal #4 | | | |
|---|---|---|---|
| Energía específica sobre la rejilla | | 0.072 | m |
| FS | | 1.70 | ad. |
| **LONGITUD NECESARIA REJILLA** | **OK** | **0.72** | m |

**Tabla 25. Análisis hidráulico de rejilla de captación #4.**
**Fuente: Elaboración propia.**

### 5.2.2. Chequeo Hidráulico de Box Culvert

En el alineamiento 1, en la abscisa K0+074.06, se encuentra proyecta una estructura de paso tipo box culvert con dimensiones de 2.0 metros de base y 2.0 metros de altura, con una longitud de 6 metros y una pendiente de 0.005 m/m. En la **Tabla 26** se detallan las variables que se ingresarán en el programa de uso libre HY8 8.7. Desde el **Gráfico 3** hasta el **Gráfico 6** se ilustran el comportamiento del box culvert bajo el caudal de diseño. Asimismo, en la **Tabla 27** y **Tabla 28** se presentan los resultados obtenidos, destacando el comportamiento de la sección hidráulica propuesta para periodos de retorno de 5, 25 y 50 años. En todos los casos, se espera que la lámina de agua no supere la elevación de la vía en este punto.

En el **Anexo 3.7.3.** se presenta la modelación en HY8 del box culvert existente y el box culvert proyectado para este sector.

| VARIABLES DE DISEÑO | ANALISIS | |
|---|---|---|
| # | 1 | Existente |
| Tipo de estructura | Box Culvert | Box Culvert |
| Cuenca | ABOX2 | ABOX2 |
| Abscisas de localizacion de estrcuturas | K0+074.06 | Box Existente |
| Caudal de diseño (Desing Flow) (m3/s) | 5.60 | 5.60 |
| Geometría del canal (Channel Type) | Trapezoidal | Trapezoidal |
| Ancho de la base del canal a la salida (Botton Width) (m) | 1.00 | 1.00 |
| Relación del talud del canal (Side Slope) | 1.5H / 1.0V | 1.5H / 1.0V |
| Pendiente dentro de la estructura (m/m) | 0.0050 | 0.001667 |
| Pendiente del canal aguas abajo (Channel Slope) (m/m) | 0.0055 | 0.0065 |
| Coeficiente de rugosidad del canal (Mannig's Channel) | 0.020 | 0.020 |
| Cota a la salida de la estructura (Channel Invert Elevation) (msnm) | 11.35 | 11.750 |
| Abscisa de la estructura respecto a la vía (First Roadway Station) | K0+000.00 | K0+000.00 |
| Longitud de la cresta (Crest Leght) (m) | 2.50 | 2.50 |
| Cota de la corona de la vía (Crest Elevation) (msnm) | 13.20 | 13.26 |
| Material carpeta de la estructura (Roadway Suerface) | Paved | Paved |
| Ancho de la estructura sobre la vía (Top Width) (m) | 6.00 | 6.00 |
| Diametro (Diameter) (mm) | N/A | N/A |
| Ancho de la estructura (Span) (mm) | 2000 | 2000 |
| Altura de la estructura (Rise) (mm) | 2000 | 1500 |
| Coeficiente de rugosidad de la estructura(Mannin's) | 0.02 | 0.020 |
| Tipo de estructura (Culvert Type) = Side – Tapered | Box Culvert | Box Culvert |
| Angulo entre salida del agua y aleta (Tapered Inlet Edge) (26-45°) | 45° | 45° |
| Ancho final de aletas (Face Width) (mm) | 3100 | 2500 |
| Talud de las aletas (Side Taper 4:1 to 6:1) | 6.00 | 6.00 |
| Abscisa a la entrada de la estructura (Inlet Station) | K0+000.00 | K0+000.00 |
| Cota a la entrada de la estructura (Inlet Elevation) (msnm) | 11.08 | 11.76 |
| Abscisa a la salida de la estructura (Outlet Station) | K0+006.00 | K0+006.00 |
| Cota a la salida de la estructura (Outlet Elevation) (msnm) | 11.05 | 11.75 |
| Numero de cajones (Number of Barrels) | 1 | 1 |

**Tabla 26. Variables de diseño para chequeo hidráulico de Box Culvert en HY8.**
**Fuente: Elaboración propia.**

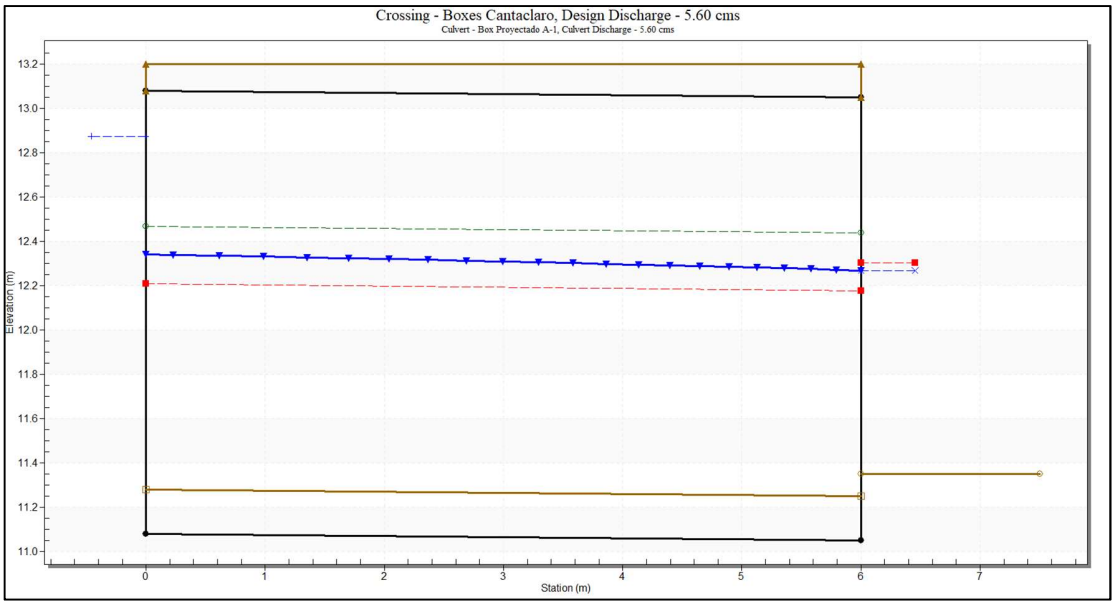



**Gráfico 3. Sección Transversal – Modelación de Box propuesto.**
**Fuente: elaboración propia en HY8.**

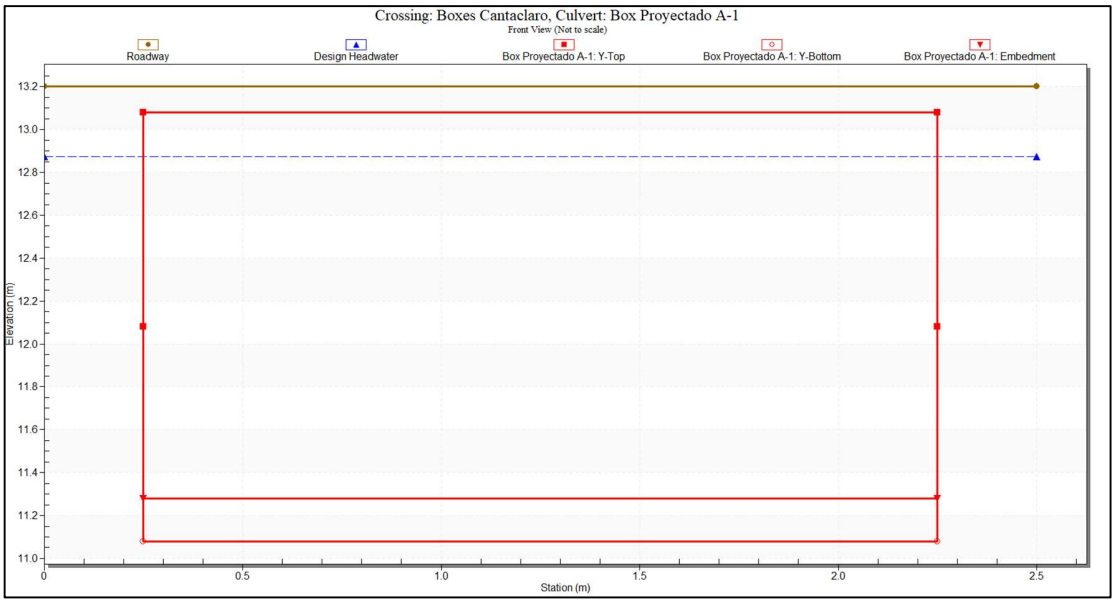



**Gráfico 4. Vista Longitudinal – Modelación de Box propuesto.**
**Fuente: elaboración propia en HY8.**

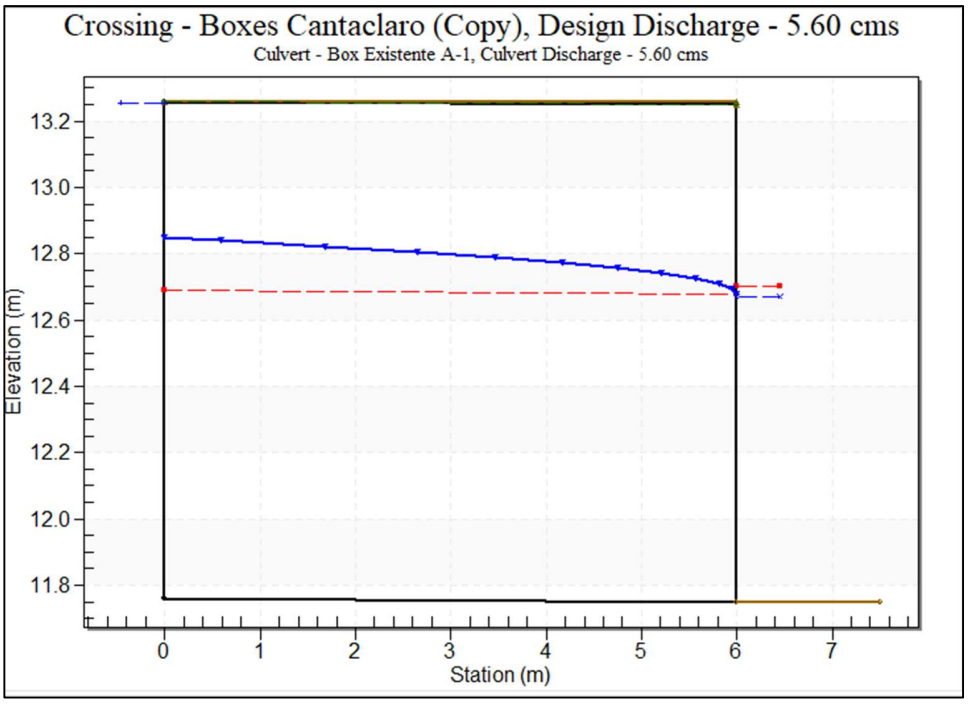



**Gráfico 5. Sección Transversal – Modelación de Box Existente.**

**Fuente: elaboración propia en HY8.**

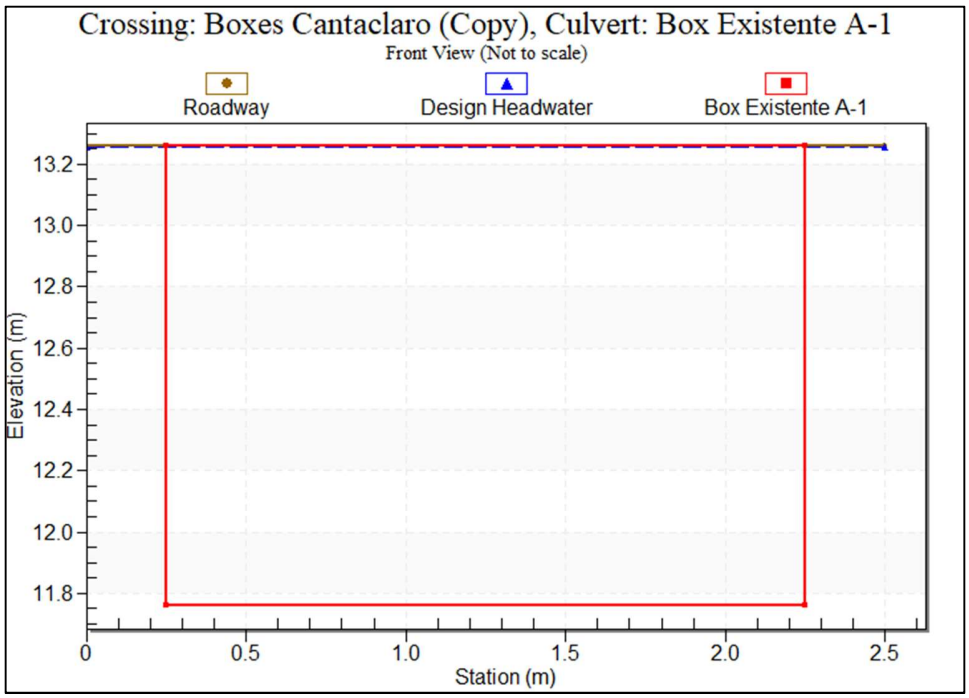



**Gráfico 6. Vista Longitudinal Modelación de Box Existente.**

**Fuente: elaboración propia en HY8.**

| Tr (años) | Caudal de Descarga (m³/s) | | Elevación Entrada (msnm) | Profundidad de Control (m) | | Tipo de Flujo | Tipo de Profundidad Calculada (m) | | | | Velocidad Calculada (m/s) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Entrada | Box | | Entrada | Salida | | Normal | Critica | Salida | Aguas Abajo | Salida | Aguas Abajo |
| **K0+074.06** | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 3.93 | 3.93 | 12.54 | 1.24 | 1.26 | 3-M2t | 0.91 | 0.73 | 0.88 | 0.78 | 2.24 | 2.34 |
| | 4.19 | 4.19 | 12.6 | 1.29 | 1.32 | 3-M2t | 0.95 | 0.76 | 0.9 | 0.8 | 2.33 | 2.38 |
| | 4.45 | 4.45 | 12.65 | 1.34 | 1.37 | 3-M2t | 1 | 0.8 | 0.92 | 0.82 | 2.41 | 2.42 |
| | 4.71 | 4.71 | 12.7 | 1.4 | 1.42 | 3-M2t | 1.04 | 0.83 | 0.95 | 0.85 | 2.49 | 2.45 |
| | 4.97 | 4.97 | 12.75 | 1.45 | 1.47 | 3-M2t | 1.08 | 0.86 | 0.97 | 0.87 | 2.56 | 2.48 |
| | 5.22 | 5.22 | 12.8 | 1.49 | 1.52 | 3-M2t | 1.13 | 0.89 | 0.99 | 0.89 | 2.64 | 2.52 |
| 25 | 5.60 | 5.60 | 12.87 | 1.57 | 1.59 | 3-M2t | 1.19 | 0.93 | 1.02 | 0.92 | 2.75 | 2.56 |
| | 5.74 | 5.74 | 12.9 | 1.59 | 1.62 | 3-M2t | 1.21 | 0.94 | 1.03 | 0.93 | 2.79 | 2.58 |
| | 6.00 | 6.00 | 12.95 | 1.64 | 1.67 | 3-M2t | 1.25 | 0.97 | 1.05 | 0.95 | 2.86 | 2.61 |
| | 6.26 | 6.26 | 13 | 1.69 | 1.72 | 3-M2t | 1.29 | 1 | 1.07 | 0.97 | 2.93 | 2.64 |
| 50 | 6.52 | 6.52 | 13.04 | 1.74 | 1.76 | 3-M2t | 1.34 | 1.03 | 1.09 | 0.99 | 3 | 2.66 |

**Tabla 27. Resultados de chequeo de Box Proyectado en HY8.**

**Fuente: Software de uso libre HY8 – 8.7.**

| Tr (años) | Caudal de Descarga (m³/s) | | Elevación Entrada (msnm) | Profundidad de Control (m) | | Tipo de Flujo | Tipo de Profundidad Calculada (m) | | | | Velocidad Calculada (m/s) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Entrada | Box | | Entrada | Salida | | Normal | Critica | Salida | Aguas Abajo | Salida | Aguas Abajo |
| **Box Culvert Existente** | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 3.93 | 3.93 | 12.94 | 1.12 | 1.18 | 3-M2t | 1.38 | 0.73 | 0.78 | 0.78 | 2.53 | 2.34 |
| | 4.19 | 4.19 | 12.99 | 1.17 | 1.23 | 3-M2t | 1.45 | 0.76 | 0.8 | 0.8 | 2.62 | 2.38 |
| | 4.45 | 4.45 | 13.04 | 1.22 | 1.28 | 3-M2t | 1.5 | 0.8 | 0.82 | 0.82 | 2.7 | 2.42 |
| | 4.71 | 4.71 | 13.09 | 1.27 | 1.33 | 3-M2t | 1.5 | 0.83 | 0.85 | 0.85 | 2.78 | 2.45 |
| | 4.97 | 4.97 | 13.14 | 1.31 | 1.38 | 3-M2t | 1.5 | 0.86 | 0.87 | 0.87 | 2.86 | 2.48 |
| | 5.22 | 5.22 | 13.19 | 1.36 | 1.43 | 3-M2t | 1.5 | 0.89 | 0.89 | 0.89 | 2.94 | 2.52 |
| 25 | 5.60 | 5.60 | 13.25 | 1.42 | 1.49 | 2-M2c | 1.5 | 0.93 | 0.93 | 0.92 | 3.02 | 2.56 |
| | 5.74 | 5.73 | 13.28 | 1.45 | 1.52 | 7-M2c | 1.5 | 0.94 | 0.94 | 0.93 | 3.04 | 2.58 |
| | 6.00 | 5.95 | 13.31 | 1.48 | 1.55 | 7-M2c | 1.5 | 0.97 | 0.97 | 0.95 | 3.08 | 2.61 |
| | 6.26 | 6.09 | 13.38 | 1.62~ | 1.58 | 7-M2c | 1.5 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 3.1 | 2.64 |
| 50 | 6.52 | 6.30 | 13.40 | 1.64~ | 1.61 | 7-M2c | 1.5 | 1 | 1 | 0.99 | 3.14 | 2.66 |

**Tabla 28. Resultados de chequeo de Box Existente en HY8.**

**Fuente: Software de uso libre HY8 – 8.7.**

## 5.3. Resumen de Resultados

Teniendo en cuenta lo anterior, para el drenaje pluvial del Sector 3 se proponen las siguientes obras de manejo de escorrentía superficial:

1. Bordillos con altura mínima de 20 cm
2. Sumidero transversal en los puntos bajos de los alineamientos 1 y 2, de 5 metros de longitud y 3 rejillas de captación con eficiencia de 0.37.
3. Cárcamo bajo anden en todos los alineamientos con pendientes mínimo de 0.50%, dimensiones internas de 0.4 m de base y altura variable (mínimo 0.4 m)
4. Box culvert en la abscisa K0+074.06 del alineamiento 1 con dimensiones internas 2.0x2.0 m y pendiente longitudinal de 0.0055.

# 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diseño de drenaje pluvial para el proyecto MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA CÓRDOBA fue realizado teniendo en cuenta la normativa colombiana para drenaje de escorrentía: Manual de Drenaje de Carreteras y Resolución 0330 de 2017.
- La definición de las áreas de drenaje se realizó con base a la topografía levantada en campo y el diseño geométrico de las vías.
- Para el análisis pluviométrico se empelaron datos descargados del IDEAM, empelando las series históricas multianuales de precipitación máxima multianual en 24 horas.
- Para obtener los datos históricos de precipitación, se eligió la estación Boca de la Ceiba la cual tiene mayor influencia en la zona de estudio, descartando otras estaciones cercanas que podrían alterar los resultados debido a las diferencias de altitud relativas a la zona del proyecto.
- Se definieron varios periodos de retorno para el desarrollo del proyecto, los cuales obedecen a:

  Vías: 5 años. Box Culverts: 25 años

  Cárcamos y Sumideros: 5 años
- La determinación de los caudales se desarrolló por el método racional, para las cuencas con áreas tributarias menores a 80 Ha, como lo especifica la resolución 0330 del 2017.
- Como principio para el análisis de la red de drenaje, se considera que las escorrentías superficiales serán evacuadas por las vías y luego captadas principalmente por sumideros transversales y un cárcamo. Para los eventos en los cuales las precipitaciones se comportan de manera critica, los excesos de escorrentía superficial, donde los sumideros no capten de manera inmediata al momento de la lluvia, la escorrentía se desplazará por la vía que funciona como un canal abierto.
- En cuanto al cárcamo se hizo el respectivo análisis y chequeo hidráulico, donde se tomaron todos los elementos, características y componentes para su respectiva integración con el presente informe y/o estudio garantizando así un buen funcionamiento de drenaje.
- Se recomienda durante la etapa constructiva conservar todos los parámetros de diseño establecidos por esta consultoría, cualquier modificación debe ser informada para su aprobación.
- Se recomienda durante la etapa de revisión al estudio, ser informado al consultor cualquier observación ya que este es el responsable del estudio.
- Esta consultoría tomo la pendiente longitudinal del terreno como parámetros para el análisis hidráulica de las vías, un cambio en ellas podría alterar las velocidades de evacuación de escorrentías superficiales.
- Las especificaciones técnicas de diseño se soportan en resoluciones, normatividad y bibliografía existente.

## 7. REFERENCIAS

Chow, V. (1959). *Hidráulica de Canales Abiertos.* Recuperado el 08 de 10 de 2021

Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada.* Bogotá, D.C.

Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2000). *Hidrología Aplicada.* Bogotá: McGRAW-HILL. Recuperado el 26 de 09 de 2021

Empresas Públicas de Medellín. E.S.P. (2013). *Normas de Diseño de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín.* Medellín, Colombia. Recuperado el Agosto de 2024

Google. (29 de Enero de 2023). *Google Earth Pro*. Recuperado el Febrero de 2024

IDEAM. (2023). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. Recuperado el 2 de Agosto de 2023, de http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

IDEAM. (2024). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. Recuperado el Febrero de 2024, de http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.* Bogotá, Colombia. Recuperado el 03 de Junio de 2021

Ministerio de Transporte de Colombia. (2009). *Manual de drenaje para carreteras.* Bogotá.

Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la ingeniería. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

NASA. (2010). *ASF Data Search Vertex*. Recuperado el Febrero de 2024, de https://vertex.daac.asf.alaska.edu/

Vargas, & Díaz - Granados. (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia.

Weather Spark. (s.f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Monteria*. Recuperado el Julio de 2024, de https://weatherspark.com/y/22571/Average-Weather-in-Monter%C3%ADa-Colombia-Year-Round