



**MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL SECTOR
PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE BARRANCO DE LOBA, BOLÍVAR**

**ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y DISEÑOS HIDRÁULICOS DE SISTEMA DE
DRENAJE LONGITUDINAL**

MAYO DE 2026

BARRANCO DE LOBA, BOLIVAR

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	OBJETIVOS	6
2.1.	Objetivo general	6
2.2.	Objetivos específicos	6
3.	ALCANCE.....	7
4.	DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA DE INTERÉS	8
4.1.	Localización y territorio.....	8
4.2.	Relieve	12
5.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	14
5.1.	Hidro-climatología	14
5.2.	Hidrografía	16
5.3.	Cuencas	17
5.4.	Análisis de lluvias	21
5.5.	Período de retorno	25
5.6.	Curva IDF	26
5.7.	Esorrentía	28
5.8.	Tiempo de concentración	30
5.9.	Análisis de caudales.....	31
6.	VERIFICACIONES Y DISEÑOS HIDRÁULICOS	35
6.1.	Método de análisis	36
6.2.	Parámetros de diseño	37
6.2.1.	Pendientes	37
6.2.2.	Coeficiente de Manning	38
6.2.3.	Velocidades admisibles.....	38
6.2.4.	Borde libre.....	39
6.3.	Verificaciones y diseños	39
6.3.1.	Calle canal	39
6.3.2.	Alternativas para el drenaje en intersecciones.....	41
6.4.	Punto de descargas	49
7.	CONCLUSIONES.....	51

8. RECOMENDACIONES	53
--------------------------	----

Ilustraciones

Ilustración 1. Localización de Barranco de Loba	8
Ilustración 2. Localización del área del proyecto.	9
Ilustración 3. Relieve en Barranco de Loba y zona de estudio.	13
Ilustración 4. Clima en Barranco de Loba.	14
Ilustración 5. Temperaturas máximas y mínimas en Barranco de Loba.	15
Ilustración 6. Vientos en Barranco de Loba a lo largo del año.	15
Ilustración 7. Vientos en Barranco de Loba a lo largo del año.	16
Ilustración 8. Cuencas generales en el municipio de Barranco de Loba y cuadrantes identificados	17
Ilustración 9. Cuencas generales en el municipio de Barranco de Loba y cuadrantes identificados.	18
Ilustración 10. Cuencas generales en el municipio de Barranco de Loba y cuadrantes identificados.	19
Ilustración 11. Estación escogida para el análisis	21
Ilustración 12. Precipitación mensual en Barranco de Loba.	23
Ilustración 13. Análisis de datos dudosos en la muestra.	24
Ilustración 14. Curva IDF para la estación Barranco de Loba	27
Ilustración 15. Sección típica de proyecto.	40
Ilustración 17. Diseño hidráulico de la calle 9.	41
Ilustración 18. Cuneta carrera 3.	44
Ilustración 19. Cuneta carrera 2B, 2C, 2D y 2.	44
Ilustración 20. Sistema de cunetas.	46
Ilustración 21. Planteamiento del sistema.	49

Tablas

Tabla 1. Puntos de descargas de las vías.....	9
Tabla 2. Características de las cuencas en estudio	20
Tabla 3. Valores de precipitación promedio mensual según estación.....	22
Tabla 4. Datos consolidados y máximos por año.....	23
Tabla 5. Datos tenidos en cuenta para el análisis y cálculos.	25
Tabla 6. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial	26
Tabla 7. Valores de los coeficientes a, b, c, d para el cálculo de las curvas IDF, para Colombia.	27
Tabla 8. Intensidades para diferentes intensidades de lluvia y frecuencias.	28
Tabla 9. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas.....	29
Tabla 10. Coeficiente de escorrentía según áreas.....	30
Tabla 11. Tiempos de concentración.	31
Tabla 12. Caudales de diseño para las estructuras.	32
Tabla 13. Caudales de diseño para las estructuras.	33
Tabla 14. Pendientes proyectadas en las vías.....	37
Tabla 15. Coeficiente de Manning.....	38
Tabla 16. Velocidades máximas permisibles en canales artificiales.	39
Tabla 17. Parámetros de diseño.	47
Tabla 18. Capacidades de diferentes diámetros de tubería según condiciones de diseño.	47
Tabla 19. Cálculo de tubería para carrera 3.....	47
Tabla 20. Cálculo de tubería para Carrera 2B, carrera 2C y carrera 2D	48
Tabla 21. Cálculo de tubería para Carrera 2, carrera 1M BIS, carrera 1M y carrera 1L BIS	48

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de infraestructura vial urbana requiere la adecuada planificación de sistemas de drenaje que permitan garantizar la correcta evacuación de las aguas lluvias y la protección de las vías proyectadas frente a procesos de acumulación de agua y deterioro superficial. En zonas con pendientes bajas, como ocurre en la cabecera municipal de Barranco de Loba, el comportamiento del drenaje superficial está condicionado principalmente por la configuración vial, las rasantes proyectadas y la conducción superficial del flujo sobre calles y carreras.

El presente estudio hidrológico e hidráulico se desarrolla como soporte técnico para el proyecto “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL SECTOR PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE BARRANCO DE LOBA, BOLÍVAR” con el propósito de analizar las condiciones de escorrentía superficial asociadas al área de intervención y definir los criterios hidráulicos necesarios para el manejo adecuado de las aguas lluvias.

Para el desarrollo del análisis se consideraron los levantamientos topográficos y diseños viales suministrados, permitiendo identificar las pendientes del corredor vial y el comportamiento general del flujo superficial en las vías objeto de intervención. De igual manera, se realizó la delimitación de áreas aferentes urbanas, la estimación de tiempos de concentración y el cálculo de caudales de diseño mediante el método racional, empleando curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) y criterios establecidos en la normativa técnica vigente.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se establecen las recomendaciones y soluciones hidráulicas requeridas para garantizar el adecuado funcionamiento del drenaje superficial asociado al proyecto vial, priorizando sistemas de fácil operación y compatibles con las condiciones topográficas del sector.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Proponer soluciones para el manejo del drenaje superficial en las vías objeto del proyecto “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL SECTOR PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE BARRANCO DE LOBA, BOLÍVAR”, de acuerdo con las condiciones hidrológicas, hidráulicas y topográficas identificadas en el área de estudio, buscando un equilibrio entre los criterios técnicos, funcionales y económicos del sistema proyectado.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones generales del drenaje superficial existente en el área de estudio, identificando el comportamiento actual de las aguas lluvias sobre las vías y zonas aledañas.
- Analizar el comportamiento hidráulico del flujo superficial en las calles y carreras objeto de intervención, considerando las condiciones topográficas, las pendientes proyectadas y la configuración urbana del sector.
- Identificar las áreas aferentes urbanas asociadas a las vías del proyecto y los sentidos predominantes del drenaje superficial.
- Determinar los tiempos de concentración y las intensidades de lluvia de diseño mediante el uso de información hidrometeorológica y curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) aplicables a la zona de estudio.
- Estimar los caudales de escorrentía superficial para las diferentes áreas de aporte mediante la aplicación de metodologías hidrológicas acordes con las características del proyecto.
- Evaluar las condiciones de conducción, continuidad y evacuación del flujo superficial en intersecciones y puntos críticos del sistema vial.
- Proponer soluciones hidráulicas para el manejo adecuado de las aguas lluvias, priorizando alternativas funcionales, técnicamente viables y acordes con las condiciones económicas y operativas del proyecto.
- Establecer recomendaciones técnicas orientadas a garantizar el adecuado funcionamiento del drenaje superficial y la protección de la infraestructura vial proyectada.
- Desarrollar el análisis hidrológico e hidráulico del proyecto considerando los lineamientos establecidos en la Resolución 0330 de 2017 - RAS, el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS y las metodologías hidrometeorológicas aplicables del IDEAM, para la definición de soluciones de drenaje acordes con las condiciones del área de estudio.

3. ALCANCE

El presente estudio comprende el análisis hidrológico e hidráulico necesario para evaluar el comportamiento del drenaje superficial asociado al proyecto “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN EL SECTOR PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE BARRANCO DE LOBA, BOLÍVAR”, con el fin de definir soluciones acordes con las condiciones topográficas y urbanas del sector.

El alcance incluye las siguientes actividades:

- Revisión del levantamiento topográfico y de los diseños viales suministrados.
- Evaluación de las condiciones actuales del drenaje superficial y del comportamiento de los flujos sobre las vías objeto de intervención.
- Delimitación de áreas aferentes y análisis de los sentidos de escorrentía superficial en calles y carreras.
- Análisis hidrológico mediante la estimación de tiempos de concentración, intensidades de lluvia y caudales de diseño.
- Evaluación hidráulica del comportamiento del flujo superficial en vías e intersecciones.
- Definición de soluciones para el manejo de aguas lluvias, incluyendo cunetas y estructuras de alivio hidráulico donde sean requeridas.
- Elaboración de recomendaciones técnicas para garantizar el adecuado funcionamiento del drenaje superficial y la protección de la infraestructura vial proyectada.

El presente estudio se limita al análisis hidrológico e hidráulico del drenaje superficial asociado al proyecto vial, sin incluir modelaciones avanzadas o estudios hidráulicos de cuerpos de agua externos al área de intervención.

4. DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA DE INTERÉS

4.1. Localización y territorio

El municipio de Barranco de Loba se encuentra localizado en el sur del departamento de Bolívar, en la región Caribe colombiana, sobre la margen occidental del río Magdalena. Hace parte de la subregión del sur de Bolívar y presenta características típicas de territorios de planicie aluvial, con pendientes bajas y predominio de drenaje superficial. El municipio se ubica aproximadamente en las coordenadas 8.95° de latitud norte y 74.11° de longitud oeste, con una altitud media cercana a los 25 m.s.n.m. Limita al norte con el municipio de Hatillo de Loba, al sur con San Martín de Loba, al oriente con el río Magdalena y el departamento del Cesar, y al occidente con el municipio de Río Viejo.

Ilustración 1. Localización de Barranco de Loba



Fuente: Propia.

El área de estudio corresponde a sectores urbanos de la cabecera municipal donde se proyecta la construcción de pavimento rígido en vías urbanas, incluyendo calles y carreras que conforman la malla vial objeto de intervención. Estas vías presentan condiciones topográficas de baja pendiente, donde el drenaje superficial se desarrolla principalmente siguiendo la configuración geométrica y las rasantes del sistema vial.

Las calles a intervenir son las calles 7A, 8, 8A, 8B, 8C entre las carreras 4 y 1L y la carrera 1L entre las calles 9A y 7A. Estas comprenden una longitud de cerca de 3050 ml de pavimento rígido.

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Ilustración 2. Localización del área del proyecto.



Fuente: Google Earth.

A continuación, se presenta un registro fotográfico de la zona y del estado actual de las vías del área de interés del proyecto. En las vías objeto de intervención del municipio de Barranco de Loba no se evidencian sistemas de drenaje superficial, por lo que las aguas lluvias circulan directamente sobre la superficie de las vías y zonas laterales, siguiendo las pendientes existentes del terreno y la configuración vial del sector. Así mismo, se observa que gran parte de las vías se encuentran actualmente sin pavimentar, presentando superficies en afirmado o terreno natural, condición que influye directamente en el comportamiento del drenaje superficial y en el arrastre de sedimentos durante eventos de lluvia.

Con base en el diseño vial desarrollado y el análisis topográfico realizado, se presentarán las áreas y sentidos de aporte que descargan hacia cada una de las calles objeto de intervención, permitiendo identificar el comportamiento general del flujo superficial dentro del sistema vial proyectado.

Tabla 1. Puntos de descargas de las vías.

Nomenclatura de vía a intervenir	Descarga hacia
Calle 7A	Carrera 4
Calle 8	Carrera 1L

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Calle 8A	Carrera 1L
Calle 8B	Carrera 1L
Calle 8C	Carrera 1L
Calle 9	Carrera 4
Carrera 1L	Calle 8B
	Calle 8A
	Calle 8
	Calle 7A

Fuente: propia.

Es de mencionar que las calles y carreras presentan intersecciones a lo largo de sus recorridos, las cuales funcionan como puntos de concentración y descarga del flujo superficial, influyendo en el comportamiento hidráulico general del sistema vial. Estas condiciones serán consideradas dentro del presente estudio con el fin de evaluar la continuidad del drenaje y el comportamiento de las escorrentías en los diferentes tramos analizados.

Foto 1. Punto de descarga en intersección de calle 9 hacia carrera 4.



Foto 2. Intersección calle 9 y calle 8C con carrera 2, punto de descarga actual.



David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Foto 3. Punto de descarga en intersección de calle 8C y carrera 1L



Foto 4. Punto de inicio y/o descarga en intersección de calle 8B y carrera 1L



Foto 5. Punto de descarga en intersección de calle 7A y carrera 4



Foto 6. Intersección de calle 8 y carrera 4



David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Foto 7. Intersección de calle 8A y carrera 4



Foto 8. Intersección de calle 8B y carrera 4



El registro fotográfico presentado permite evidenciar las condiciones actuales de las vías objeto de intervención dentro del área urbana del municipio de Barranco de Loba. En general, se observa que las vías se encuentran sin pavimentar y que el drenaje superficial se desarrolla directamente sobre la superficie de rodadura y las zonas laterales, siguiendo las pendientes existentes y la configuración geométrica de las calles y carreras.

Así mismo, las imágenes permiten identificar diferentes puntos de descarga e intersecciones donde actualmente se concentra y conduce el flujo superficial durante eventos de lluvia, evidenciándose sectores con acumulación, pérdida de material superficial y afectaciones asociadas al tránsito y a las condiciones propias del terreno. En los puntos de vertimientos proyectados, teniendo en cuenta las pendientes proyectadas en el diseño de las vías, no se cuentan con estructuras de drenaje, esto de acuerdo a la topografía que se maneja en el municipio. Además, el sector este del municipio, donde se ubican las vías a intervenir, no tiene gran cobertura de pavimentación lo que influye en la no afectación de la capacidad del terreno de infiltrar.

4.2. Relieve

La fisiografía del municipio de Barranco de Loba se caracteriza por presentar un relieve predominantemente plano, asociado a las dinámicas aluviales del río Magdalena y a

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

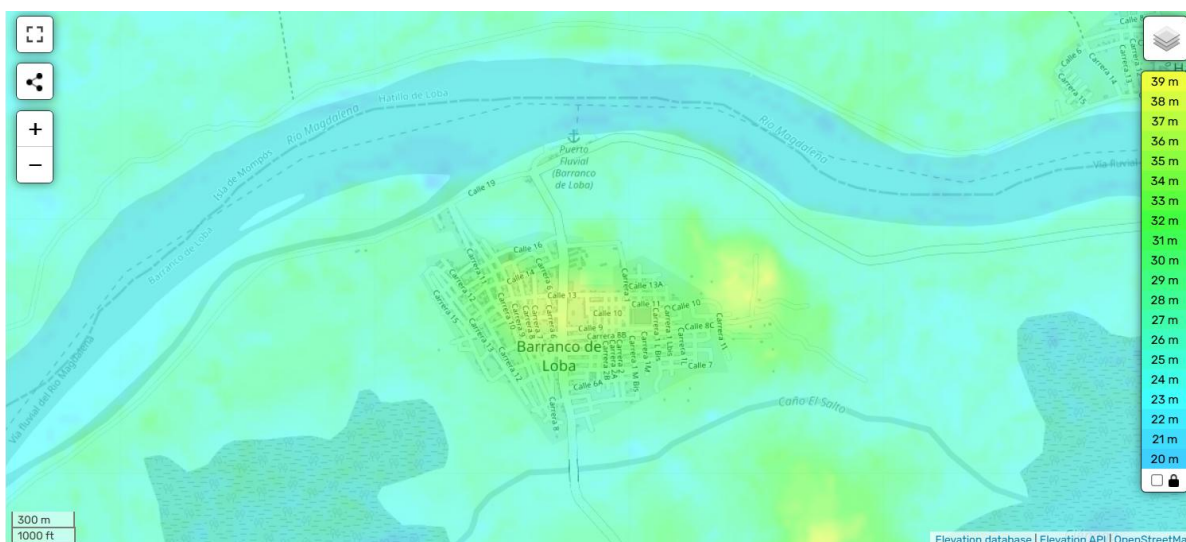
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

zonas bajas con influencia cenagosa y de drenaje superficial. El territorio presenta pendientes suaves, generalmente entre 0% y 2%, y alturas bajas sobre el nivel del mar, favoreciendo la formación de superficies de inundación, depósitos aluviales y áreas de escasa pendiente hidráulica.

Ilustración 3. Relieve en Barranco de Loba y zona de estudio.



Fuente: topographic-map.com

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

5. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

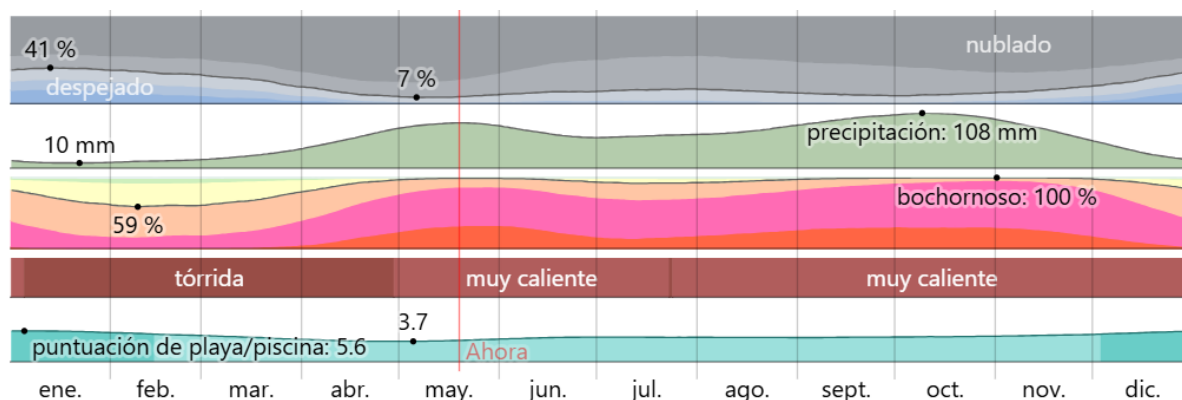
5.1. Hidro-climatología

El análisis hidro-climatológico permite identificar las principales condiciones ambientales e hidrometeorológicas que influyen en el comportamiento de las aguas lluvias dentro del área de estudio. Para el desarrollo del presente estudio se consideran variables como el clima, la temperatura y el comportamiento de los vientos, las cuales permiten comprender las características generales de precipitación, evaporación y escorrentía superficial presentes en el municipio de Barranco de Loba y su influencia sobre el sistema de drenaje asociado al proyecto vial.

5.1.1. Clima

En Barranco de Loba, los veranos son cortos, tórridos, bochornosos y secos; los inviernos son cortos, calurosos, opresivos y mojados y está nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 38 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 40 °C.

Ilustración 4. Clima en Barranco de Loba.



Fuente: Weather Spark

5.1.2. Temperatura

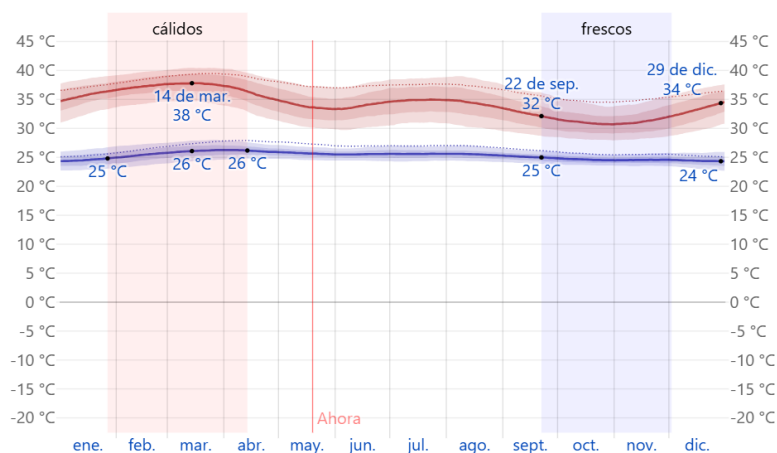
La temporada calurosa dura 2,6 meses, del 27 de enero al 13 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 36 °C. El mes más cálido del año en Barranco de Loba es marzo, con una temperatura máxima promedio de 38 °C y mínima de 26 °C. Por otro lado, La temporada fresca dura 2,4 meses, del 22 de septiembre al 2 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 32 °C. El mes más frío del año en Barranco de Loba es octubre, con una temperatura mínima promedio de 25 °C y máxima de 31 °C.

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Ilustración 5. Temperaturas máximas y mínimas en Barranco de Loba.

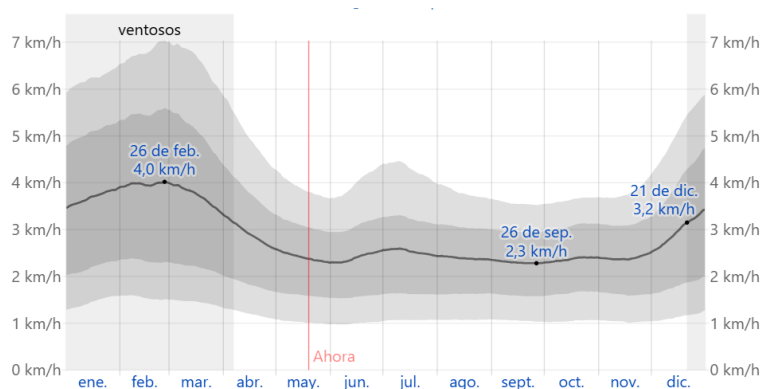


Fuente: Weather Spark

5.1.3. Vientos

La velocidad promedio del viento por hora en Barranco de Loba tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 3,5 meses, del 21 de diciembre al 6 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 3,2 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Barranco de Loba es febrero, con vientos a una velocidad promedio de 4,0 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura 8,5 meses, del 6 de abril al 21 de diciembre. El mes más calmado del año en Barranco de Loba es septiembre, con vientos a una velocidad promedio de 2,3 kilómetros por hora.

Ilustración 6. Vientos en Barranco de Loba a lo largo del año.



Fuente: Weather Spark

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

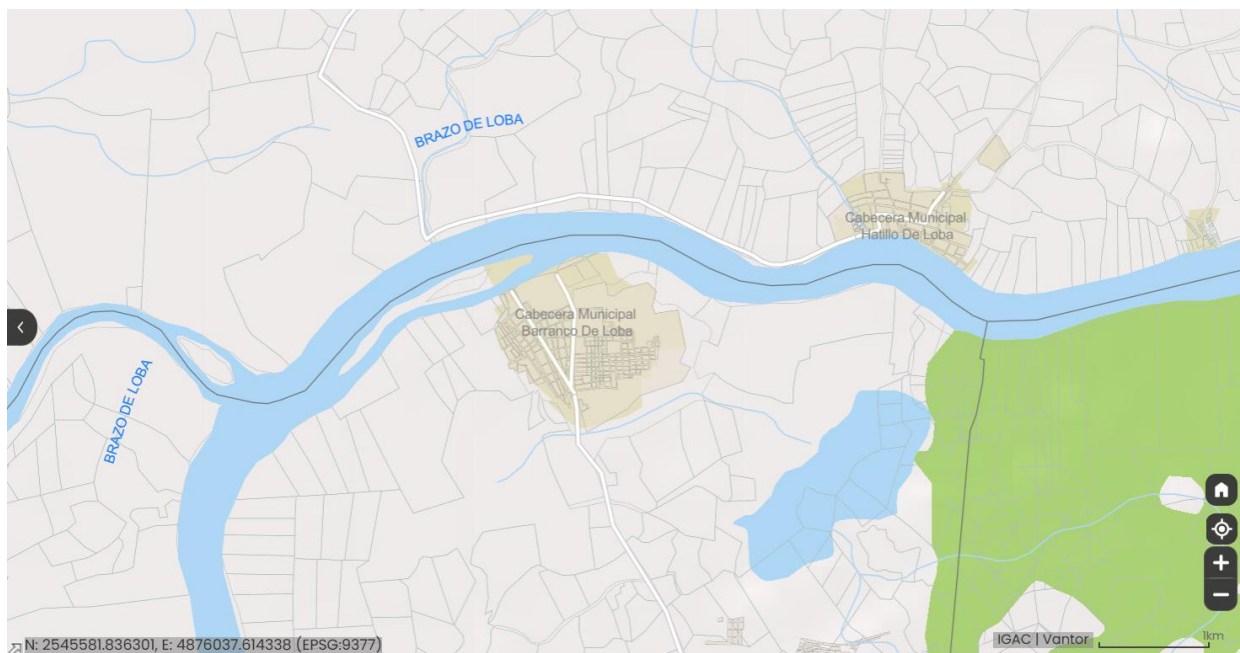
Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

5.2. Hidrografía

La hidrografía del municipio de Barranco de Loba se encuentra fuertemente influenciada por la dinámica del río Magdalena, el cual constituye el principal eje hídrico de la región y condiciona gran parte del comportamiento hidráulico y de drenaje del territorio. El municipio se localiza sobre la margen occidental del río, en una zona caracterizada por relieves de baja pendiente y procesos asociados a planicies aluviales. El área urbana presenta un sistema de drenaje superficial dominado por escorrentías de baja velocidad, favorecidas por las reducidas pendientes naturales del terreno. Debido a estas condiciones, durante eventos de precipitación el flujo superficial tiende a concentrarse sobre calles, carreras y depresiones locales, dependiendo en gran medida de la configuración vial y de las rasantes existentes.

Adicionalmente, en el entorno municipal se presentan pequeños caños, drenajes naturales y zonas bajas que funcionan como receptores temporales de aguas lluvias, contribuyendo a la evacuación superficial durante periodos de invierno. Estas condiciones hacen que el comportamiento hidráulico urbano esté estrechamente ligado a la conducción superficial del agua y a la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje existentes.

Ilustración 7. Vientos en Barranco de Loba a lo largo del año.



Fuente: Colombia en Mapas.

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

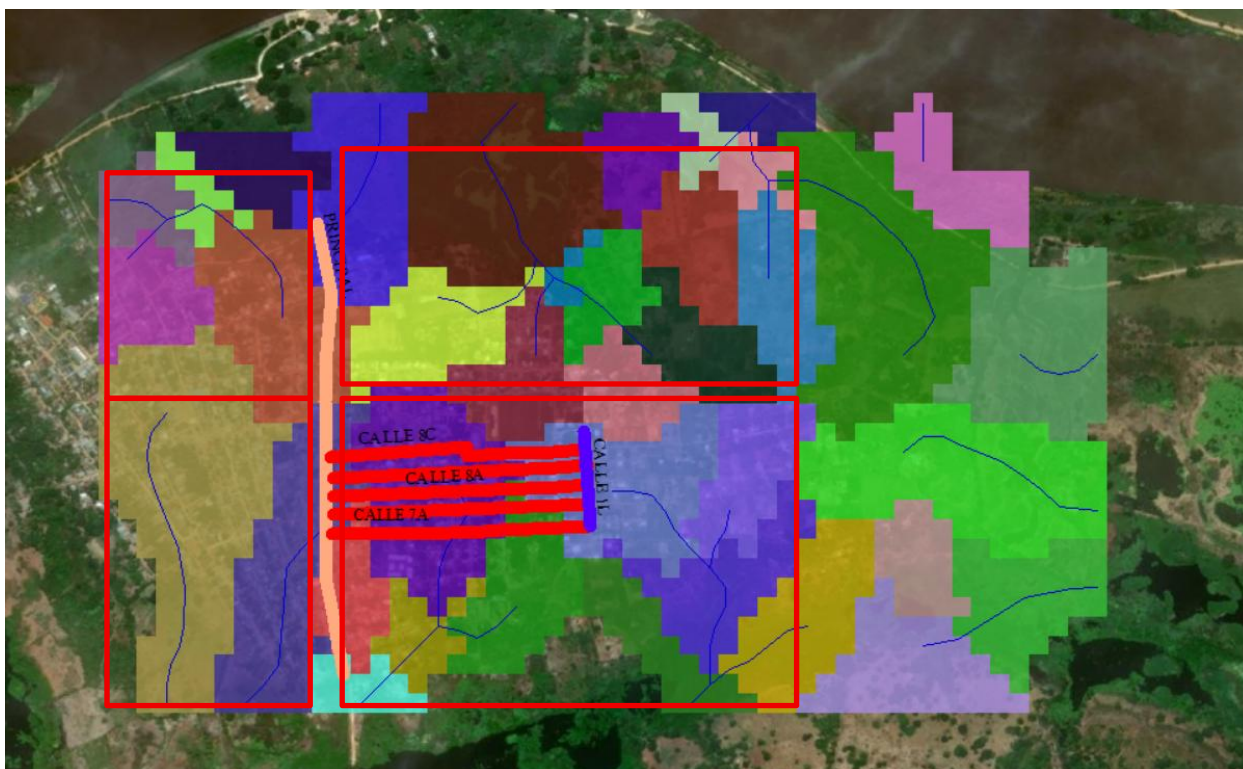
Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

5.3. Cuencas

Las vías objeto de análisis actualmente se encuentran sin pavimentar y no presentan sistemas formales de drenaje superficial, por lo que las aguas lluvias circulan directamente sobre la superficie de rodadura y zonas laterales, siguiendo las pendientes existentes y la configuración geométrica del sistema vial. Debido a las bajas pendientes del sector, el comportamiento del flujo superficial se encuentra condicionado principalmente por las rasantes proyectadas de las vías y por las intersecciones entre calles y carreras, las cuales funcionan como puntos de concentración y conducción del drenaje. Inicialmente, con DEM de la NASA, se buscó conocer el comportamiento de los flujos generales dentro del entorno de las calles objetivo del presente proyecto.

Ilustración 8. Cuencas generales en el municipio de Barranco de Loba y cuadrantes identificados



Fuente: Propia.

La interpretación general del drenaje superficial en el área de estudio permite evidenciar que la Carrera 4 o vía principal actúa como un eje divisor del comportamiento hidráulico urbano, separando el escurrimiento superficial en dos grandes sectores de aporte: oriental y occidental. Esta condición se encuentra asociada tanto a la configuración vial existente y a la topografía general del casco urbano del municipio.

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Así mismo, el análisis de las áreas aferentes evidencias dinámicas de drenaje similares en ambos sectores, donde el flujo superficial tiende a concentrarse progresivamente sobre calles y carreras receptoras, siguiendo direcciones definidas por las rasantes viales y los puntos de descarga existentes. En términos generales, el comportamiento hidráulico del municipio dentro del área analizada puede interpretarse como un sistema dividido en cuatro cuadrantes principales de drenaje, similares a la distribución de un plano cartesiano, donde las vías principales y topografía condicionan la conducción y flujos. Esta condición permitió establecer de manera más clara los sentidos predominantes del drenaje urbano y la relación hidráulica existente entre calles, carreras e intersecciones, facilitando la delimitación de áreas aferentes y la evaluación del comportamiento de las escorrentías dentro del sistema vial objeto de intervención.

Ahora, a partir de la información del levantamiento topográfico del sector este (objetivo del presente estudio), teniendo en cuenta las características antes mencionadas, se procedió a utilizar dicha información para contrastar la información anterior con la información levantada.

Ilustración 9. Cuencas generales en el municipio de Barranco de Loba y cuadrantes identificados.



Fuente: Propia.

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Con la delimitación de las áreas aferentes realizada a partir del estudio topográfico y del análisis de las pendientes definidas en el diseño vial, fue posible contrastar el comportamiento hidráulico identificado previamente durante las visitas de campo y la interpretación inicial del drenaje superficial. Como resultado, se evidenció que el planteamiento general del sistema de escorrentía es coherente con las condiciones topográficas presentes en el sector.

El análisis realizado permitió identificar que el sector oriental del área de estudio se divide hidráulicamente en dos zonas principales de drenaje: un tramo norte y un tramo sur. Las demás vías objeto de intervención, las cuales presentan un comportamiento de drenaje en sentido sur, siguiendo las pendientes longitudinales proyectadas en el diseño vial. Estas condiciones permitieron establecer de manera más precisa los sentidos predominantes del flujo superficial y la relación hidráulica existente entre calles, carreras e intersecciones, facilitando así la delimitación de áreas aferentes y la evaluación de los caudales asociados a cada tramo analizado. A partir de esto, se procede a trazar las microcuencas directas para cada una de las calles a intervenir.

Ilustración 10. Cuencas generales en el municipio de Barranco de Loba y cuadrantes identificados.



Fuente: Propia.

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Las microcuencas delimitadas corresponden a superficies semiurbanas y áreas adyacentes que descargan de manera progresiva sobre las vías objeto de intervención, siguiendo las pendientes longitudinales y transversales definidas en el diseño vial y en el levantamiento topográfico suministrado. El comportamiento del drenaje superficial evidencia que, especialmente en el sector sur del área de estudio, los aportes hidráulicos se van acumulando en sentido norte-sur a medida que el flujo avanza sobre las calles intervenidas. En este sector, las vías superiores descargan progresivamente sobre las ubicadas aguas abajo, generando una acumulación sucesiva de caudales entre tramos. Debido a ello, las microcuencas analizadas no funcionan de manera completamente independiente, sino que presentan una interacción hidráulica progresiva entre calles consecutivas.

El flujo superficial se concentra sobre la superficie vial siguiendo las pendientes proyectadas, conformando trayectos de escorrentía relativamente cortos y de respuesta rápida ante eventos de lluvia. Así mismo, las intersecciones y carreras receptoras funcionan como puntos de concentración y conducción del flujo superficial, condicionando el comportamiento general del drenaje dentro del sistema vial analizado.

La delimitación de estas áreas aferentes se realizó con base en la información topográfica suministrada, el diseño vial proyectado y el análisis del comportamiento esperado de las aguas lluvias dentro del área de estudio. Adicionalmente, se emplearon imágenes satelitales y herramientas de apoyo para complementar la interpretación hidráulica del sector y establecer de manera más precisa los sentidos predominantes del drenaje superficial y los caudales asociados a cada tramo evaluado.

Las siguientes son las características morfométricas de las cuencas a analizar. Es importante resaltar que se tomarán información del diseño planteado de vías que serán las características finales y con las que contará el entorno final. De esta manera se toma la pendiente proyectada de la vía como la de la cuenca.

Tabla 2. Características de las cuencas en estudio

Nomenclatura de la vía	Tramo	Área cuenca aportante (m ²)	Longitud de la vía (ml)	Pendiente proyectada (%)
Carrera 1L	1	1555.3	37.74	0.0576
	2	612.1	18.18	0.9351
	3	1238.9	36.80	0.7880
	4	1157.8	34.39	0.4071
	5	1106.6	32.87	1.4907
Calle 7A	1	18190.0	510.00	0.0681
Calle 8	1	19218.0	510.00	0.1902
Calle 8a	1	18120.0	510.00	0.0167
Calle 8b	1	17261.0	510.00	0.0776

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

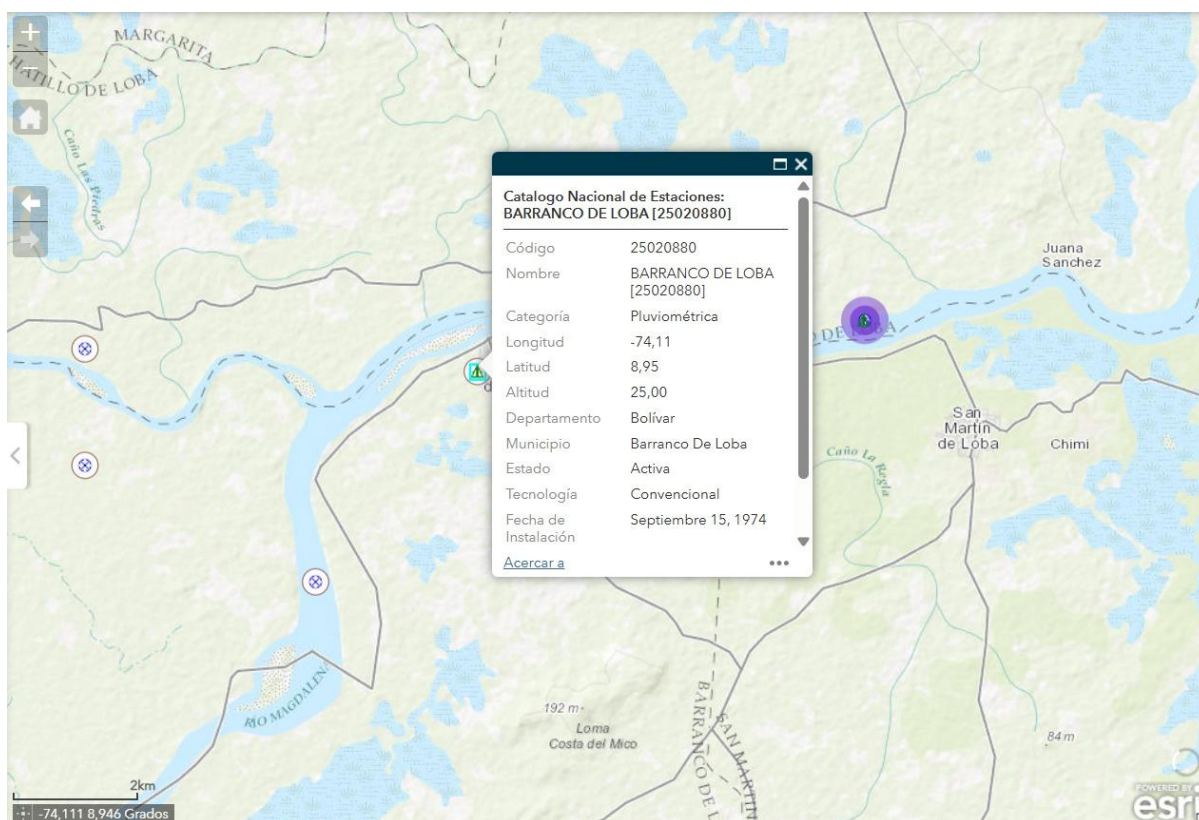
Calle 8c	1	7625.0	240.00	0.1208
Calle 9	1	27873.0	280.00	0.0392

Fuente: Propia.

5.4. Análisis de lluvias

Los datos de lluvias que se relacionan en el presente estudio son suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). En la zona de estudio se encuentran varias estaciones pluviométricas, en este caso, por cercanía y los datos se escogieron la estación BARRANCO DE LOBA con código 25020880 la cual presenta una fecha de instalación de septiembre de 1974.

Ilustración 11. Estación escogida para el análisis



Fuente: IDEAM.

El análisis de los registros históricos de precipitación para la zona de estudio permite identificar un régimen de lluvias de comportamiento bimodal, característico de gran parte de la región Caribe colombiana. Los menores valores de precipitación se presentan durante los meses de enero y febrero, con promedios mensuales cercanos a 33 mm y

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

29 mm respectivamente, configurando el periodo más seco del año dentro del área de influencia del proyecto.

A partir del mes de marzo se evidencia un incremento progresivo de las precipitaciones, alcanzando un primer periodo lluvioso entre abril y junio, donde se presentan valores mensuales promedio superiores a los 170 mm y máximos cercanos a 271 mm durante mayo. Posteriormente, durante julio se presenta una disminución moderada de las lluvias, aunque sin llegar a condiciones secas marcadas.

El segundo periodo lluvioso se desarrolla entre agosto y noviembre, registrándose los mayores valores de precipitación del año. Dentro de este periodo destacan especialmente los meses de septiembre y octubre, con precipitaciones promedio aproximadas de 308 mm y 364 mm respectivamente, siendo octubre el mes de mayor pluviosidad dentro de la serie analizada. Finalmente, durante diciembre las precipitaciones disminuyen nuevamente, aunque conservando valores superiores a los observados al inicio del año.

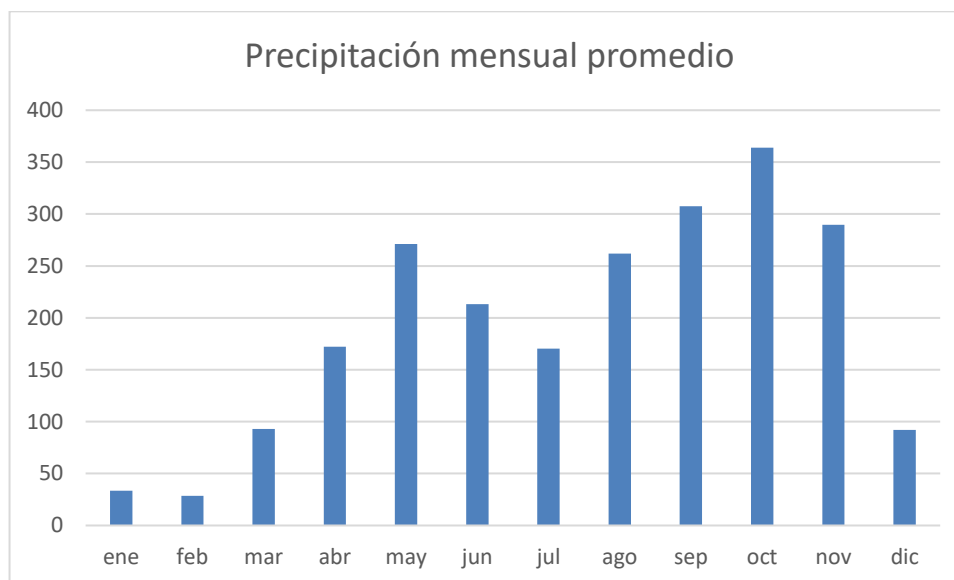
A continuación, se presentan las gráficas correspondientes a la variación de la precipitación mensual promedio para el periodo comprendido entre los años 1990 y 2025, elaboradas a partir de la información histórica de estaciones hidrometeorológicas obtenida del IDEAM para la zona de estudio.

Tabla 3. Valores de precipitación promedio mensual según estación.

Mes	Precipitación mensual promedio (mm)
Enero	33
Febrero	29
Marzo	93
Abril	172
Mayo	271
Junio	213
Julio	170
Agosto	262
Septiembre	308
Octubre	364
Noviembre	290
Diciembre	92

Fuente: Propia.

Ilustración 12. Precipitación mensual en Barranco de Loba.



Fuente: Propia.

Hay que resaltar que se consolidaron los datos entre los años antes mencionados. Sin embargo, se realizó una depuración de datos de la siguiente manera:

1. Se analizaron los datos presentados en la estación, encontrado casos en los que anualmente había meses en los que no se registraban datos. Los años en los que se presentaban vacíos desde 5 meses en adelante no se tuvieron en cuenta para el análisis resultando en la eliminación de los datos de los años 1999 y 2016.

Tabla 4. Datos consolidados y máximos por año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Max
1990	0	78	32	60	135	35	20	100	40	80	78	55	135
1991	0	10	40	70	60	55	50	50	60	45	102	0	102
1992	35	20	25	65	75	50	90	59	33	117	117	26	117
1993	24	0	133	64	94	43	51	64	96	28	88	33	133
1994	3	15	35	75	85	30	76	101	89	73	50	0	101
1995	0	0	25	30	45	101	93	85	75	73	33	51	101
1996	6	0	86	50	45	31	45	80	90	57	75	52	90
1997	55	0	0	30	26	75	17	20	83	38	43	2	83
1998	0	32	37	53	90	30	92	80	110	70	75	70	110
2000	12	49	11	27	25	137	110.2	125	85	88	16	87	137
2001	0	0	35	30	68	39	46	55	52	50	60	43	68
2002	81	22	26	36	97	82	30	62	35	54	52	12	97
2003	0	24	14	78	25	120	11	42	127	53	46	40	127
2004	9	0	7	25	69	45	79	25	78				79
2005	140	40	31	35	38	83	45	90	80	139	90	70	140

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

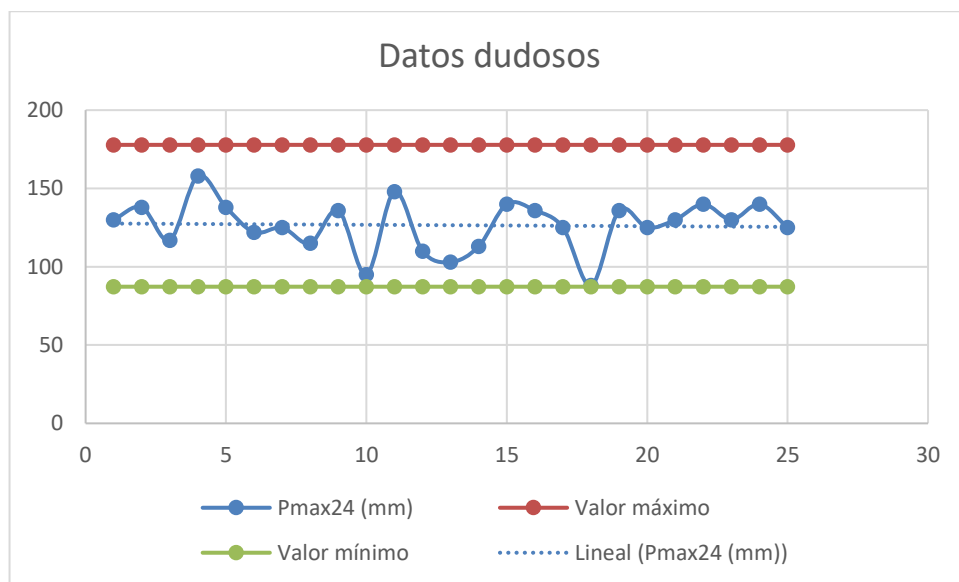
Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

2006	89	17	64	68	96	130	21	85	64	141	84	28	141
2007	0	99	32	58	88	31	128	50	147	140	65	47	147
2008	4	10	86	17	136	55	86	56	80	120	100	27	136
2009	72	1	74	110	88	77	25	37	106	86	97	12	110
2010	0	12	38	53	142	128	50	70	95	98	93	139	142
2011	6	10	80	83	48	44	123	46	60	98	87	120	123
2012	27	18	15	86	58	84	23	85	42	62	93	40	93
2013	0	14	24	89	81	135	25	45	80	100	168	100	168
2014	2	50	31	30	55	34	28	92	27	130	32	20	130
2015	2	81	42	38	45	22	29	88	98	108	56	22	108
2017	2	11	82	68	114	60	85	86	32	75	65	35	114
2018	140	0	25	95	90	52	130	60	98	95	104	0	140
2019	12	0	20	40	120	22	32	55	84	60	65	22	120
2020	8	2	16	29	42	49	30	73	120	105	127	34	127
2021	0	6	2	52	44	94	70	67	53	110	75	11	110
2022	4	0	62	35	35	85	135	54	105	98	86	17	135
2023	106	0	55	17	67	64	60	48	40	95	29	21	106
2024	0	49	75	37	59	48	29	91	57	115	47	38	115
2025	50	19	130	54	139	55	44	31	77	65	64		139

Fuente: Propia.

- Se realizó prueba de datos dudosos en los datos depurados arrojando que existe un dato dudoso, sin embargo, viendo que se encuentra al límite, será considerado dentro del rango.

Ilustración 13. Análisis de datos dudosos en la muestra.



Fuente: Propia.

- Se utilizaron los datos máximos de precipitación anual. Los datos consolidados se muestran a continuación:

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Tabla 5. Datos tenidos en cuenta para el análisis y cálculos.

Año	Pmax24 (mm)
1990	135
1991	102
1992	117
1993	133
1994	101
1995	101
1996	90
1997	83
1998	110
2000	137
2001	68
2002	97
2003	127
2004	79
2005	140
2006	141
2007	147
2008	136
2009	110
2010	142
2011	123
2012	93
2013	168
2014	130
2015	108
2017	114
2018	140
2019	120
2020	127
2021	110
2022	135
2023	106
2024	115
2025	139
MAXIMO	168
MINIMO	68

Fuente: Propia.

5.5. Período de retorno

El período de retorno de un evento hidrológico corresponde al tiempo promedio en años que transcurriría para que la magnitud de ese evento sea igualada o excedida. Es función del riesgo o probabilidad que la variable hidrológica estimada sea superada en un período de análisis de n años. Para una lluvia, el período de retorno es definido como el promedio de años entre los cuales ocurre una lluvia de una magnitud específica. Una definición similar puede ser aplicada a caudales máximos o crecientes. En el diseño de

drenajes es muy común definir una creciente producida por una lluvia con el mismo período del período de retorno de la lluvia.

La probabilidad de excedencia anual, a menudo simplemente llamada probabilidad es también comúnmente usada para caracterizar crecientes. La probabilidad de excedencia de un caudal determinado durante un año es igual al recíproco del período de retorno (T_r) en años expresado como porcentaje.

Tabla 6. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	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: Manual de Drenaje de Carretera INVIAS.

De esta manera y teniendo en cuenta la importancia y características de las obras en estudio se evaluará un periodo de retorno de 5 años.

5.6. Curva IDF

En la elaboración de las curvas IDF para el estudio se utilizó la metodología propuesta en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, teniendo en cuenta la localización del proyecto, se tomó como base para los parámetros en las curvas IDF, de la Región Caribe.

$$I = \frac{a \times T^b \times M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Donde:

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

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

T: Periodo de retorno, en años

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 ha 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 Tabla 7.

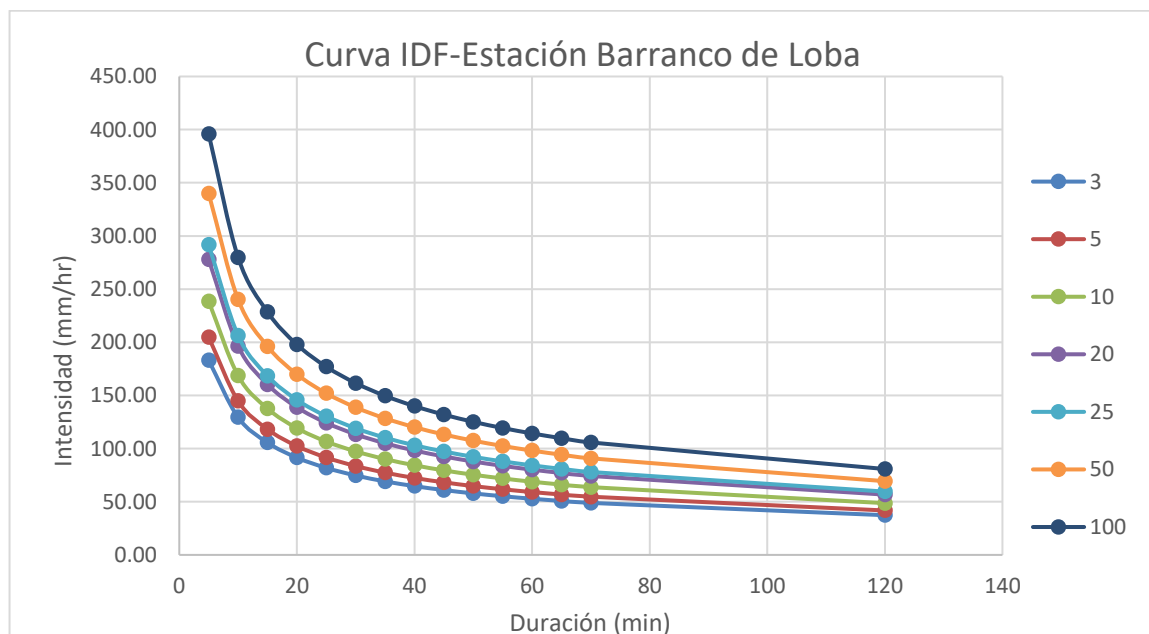
Tabla 7. Valores de los coeficientes a, b, c, d para el cálculo de las curvas IDF, para Colombia.

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 INVIAS.

Con lo cual se obtiene lo siguiente:

Ilustración 14. Curva IDF para la estación Barranco de Loba



Fuente: Propia

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Tabla 8. Intensidades para diferentes intensidades de lluvia y frecuencias.

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EN ANÁLISIS CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA (valores en mm/h)							
Duración de lluvia (min)	Período de retorno						
	3	5	10	20	25	50	100
5	182.98	204.75	238.48	277.76	291.74	339.80	395.77
10	129.39	144.78	168.63	196.41	206.29	240.27	279.85
15	105.65	118.21	137.69	160.37	168.44	196.18	228.50
20	91.49	102.37	119.24	138.88	145.87	169.90	197.89
25	81.83	91.57	106.65	124.22	130.47	151.96	177.00
30	74.70	83.59	97.36	113.40	119.10	138.72	161.57
35	69.16	77.39	90.14	104.98	110.27	128.43	149.59
40	64.69	72.39	84.31	98.20	103.15	120.14	139.93
45	60.99	68.25	79.49	92.59	97.25	113.27	131.92
50	57.86	64.75	75.41	87.84	92.26	107.45	125.15
55	55.17	61.73	71.90	83.75	87.96	102.45	119.33
60	52.82	59.11	68.84	80.18	84.22	98.09	114.25
65	50.75	56.79	66.14	77.04	80.91	94.24	109.77
70	48.90	54.72	63.74	74.24	77.97	90.81	105.78
120	37.35	41.79	48.68	56.70	59.55	69.36	80.79

Fuente: Propia

5.7. Escorrentía

El coeficiente de escorrentía adimensional (C) está definido como la relación entre la máxima rata a la cual el caudal fluye hacia fuera de la cuenca para una tormenta dada y la rata de volumen promedio a la cual cae la lluvia sobre la cuenca durante la duración de la lluvia. El coeficiente de escorrentía es función del período de retorno y de muchos otros factores que incluyen:

- Forma de la superficie de la cuenca representada por la pendiente de la cuenca.
- Características del terreno como vegetación, tipo de suelo y áreas impermeables.
- Almacenamiento y otras características de detención.

La Tabla 9 presenta valores típicos de coeficientes de escorrentía asociados a diferentes tipos de superficies y niveles de impermeabilización. Considerando que el área de estudio corresponde a un sector semiurbano residencial con predominio de viviendas de baja densidad y vías locales, se adoptaron coeficientes representativos para superficies pavimentadas, cubiertas o techos y áreas suburbanas parcialmente permeables, de acuerdo con los rangos recomendados en la literatura técnica para drenaje urbano.

Para la estimación del coeficiente compuesto de escorrentía, inicialmente se delimitó el área correspondiente a las vías, las cuales presentan una alta impermeabilidad y, por tanto, generan una respuesta hidrológica rápida con bajos niveles de infiltración. A estas

superficies se les asignó un coeficiente de escorrentía representativo de superficies pavimentadas.

Posteriormente, del área restante dentro de la zona aferente, se asumió que el 50% corresponde a superficies de techos o cubiertas asociadas a viviendas y construcciones presentes en el sector, considerando que estas superficies poseen un comportamiento cercano a impermeable y favorecen la generación de escorrentía superficial. Para dichas áreas se adoptó un coeficiente de escorrentía característico de techos. El porcentaje restante del área fue considerado como entorno suburbano de baja consolidación, compuesto por patios, zonas verdes, superficies parcialmente permeables y áreas con cobertura vegetal, las cuales permiten procesos de infiltración y almacenamiento temporal del agua lluvia. Para estas superficies se empleó un coeficiente de escorrentía representativo de áreas suburbanas con vegetación y baja densidad urbana.

Tabla 9. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Fuente: Manual de Drenaje de Carretera INVIAS.

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Tabla 10. Coeficiente de escorrentía según áreas.

Áreas encontradas	Coeficiente de retorno	Área (m2)	Porcentajes	Coeficiente final
Vías pavimentadas	0.8	19151.89	14.06%	0.11
Techos	0.75	58538.43	42.97%	0.32
Entorno urbano de baja consolidación	0.25	58538.43	42.97%	0.11
		136228.74		0.54

Fuente: Propia.

Con base en esta distribución de coberturas, se realizó la ponderación entre áreas y coeficientes de escorrentía, obteniéndose un coeficiente compuesto equivalente de 0.54 para el área evaluada, el cual representa de manera más adecuada el comportamiento hidrológico esperado dentro del sistema vial objeto de estudio.

5.8. 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, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma. Para el cálculo del tiempo de concentración de las áreas de aporte se empleó la fórmula de Kirpich. Por otro lado, se tomará como mínimo un tiempo de concentración igual a 15 minutos, con el fin de en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoya y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración.

- Ecuación de 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)

Los parámetros de longitud y pendientes, se tomaron del diseño de vías propuesto y de la topografía realizada, que son base de información para el presente estudio.

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

De acuerdo a lo anterior se presenta el cálculo del tiempo de concentración a continuación:

Tabla 11. Tiempos de concentración.

Nomenclatura de la vía	Tra mo	Área cuenca aportante (m2)	Longitud considerada de flujo (ml)	Pendiente proyectada (%)	Tc calculado (min)	Tc adoptado (min)
Carrera 1L	1	1555.3	37.74	0.0576	5.64	15
	2	612.1	18.18	0.9351	1.10	
	3	1238.9	36.80	0.7880	2.02	
	4	1157.8	34.39	0.4071	2.47	
	5	1106.6	32.87	1.4907	1.45	
Calle 7A	1	18190.0	255.00	0.0681	23.00	25
Calle 8	1	19218.0	255.00	0.1902	15.49	15
Calle 8a	1	18120.0	255.00	0.0167	39.52	40
Calle 8b	1	17261.0	255.00	0.0776	21.88	25
Calle 8c	1	7625.0	120.00	0.1208	10.33	15
Calle 9	1	27873.0	140.00	0.0392	17.93	20

Fuente: Propia.

Para la estimación de los tiempos de concentración se consideró la longitud hidráulica efectiva del flujo superficial sobre las vías analizadas, teniendo en cuenta que, debido a la configuración urbana, las intersecciones existentes y el comportamiento progresivo del drenaje superficial, los aportes no recorren necesariamente la totalidad de la longitud geométrica de cada vía antes de incorporarse a los tramos receptores del sistema.

En consecuencia, se adoptó como longitud hidráulica una fracción representativa de la longitud total de cada corredor vial, equivalente aproximadamente al 50% de la longitud geométrica de las vías analizadas, criterio considerado coherente con el comportamiento hidráulico observado en campo y con la dinámica de acumulación progresiva de caudales identificada dentro del proyecto.

5.9. Análisis de caudales

Según lo establecido en el Manual de Drenaje de Carreteras Invias referente al método Racional para la estimación de caudales “La tendencia actual es usar 1.3 a 2.5 km² 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 km² para el uso de este método.” Lo anterior, y dada la extensión de la cuenca en estudio, para la determinación del caudal máximo se utilizó el método racional. Para este cálculo es necesario tener la intensidad de la precipitación, la cual se obtuvo a partir de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia elaborada para las estaciones en consideración

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

El cálculo del tiempo de concentración de las áreas de aporte se realizó con base en la fórmula Kirpich, frecuentemente usado en el medio, uno de los criterios para la selección del tiempo de concentración es el criterio de la velocidad media del flujo en el terreno. Por otro lado, el área de aporte de las obras y la longitud fueron adoptados teniendo en cuenta las condiciones de la zona y el proyecto, realizando su medición y delimitación con softwares GIS, donde también se definieron las cuencas. El coeficiente de escorrentía se determinó utilizando lo establecido en el Manual de Drenaje de Carretera INVIAS.

5.9.1. Estimación de caudales de diseño

Como antes se mencionó la estimación de caudales de crecientes se empleó por el método Racional, el cual es un método simplificado que sólo aporta los caudales pico, siendo apropiado para cuencas pequeñas.

5.9.1.1. Método Racional

Este método, ampliamente reconocido por su sencillez y validez en cuencas pequeñas, permite estimar el caudal máximo generado por una lluvia de intensidad constante distribuida homogéneamente en toda el área de la cuenca y con una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Este método usa la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CiA}{360}$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía

i: Intensidad de la lluvia (mm/hr)

A: Área de drenaje (Has).

Hay que resaltar que se determinaron las intensidades de acuerdo a los tiempos de concentración y a los períodos de retorno en cuestión. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 12. Caudales de diseño para las estructuras.

Nomenclatura de la vía	Cuenca	Área cuenca aportante (m2)	C	Tc adoptado (min)	Tr, Periodo de retorno	I asociada a Tr (mm/h)	Q (m3/s)	Q (m3/s/ml v)
Carrera 1L	1	1555.3		15	5	118.21	0.101	0.00063

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

	2	612.1						
	3	1238.9						
	4	1157.8						
	5	1106.6						
Calle 7A	1	18190.0	0.5 4	25		106.65	0.292	0.00057
Calle 8	1	19218.0		15		118.21	0.342	0.00067
Calle 8a	1	18120.0		40		72.39	0.198	0.00039
Calle 8b	1	17261.0		25		91.57	0.238	0.00047
Calle 8c	1	7625.0		15		118.21	0.136	0.00057
Calle 9	1	27873.0		20		102.37	0.430	0.00153

Fuente: Propia.

Como se observa anteriormente, y con el fin de identificar de manera aproximada el caudal conducido por metro lineal de vía, se elaboró la tabla anterior a partir de la relación entre los caudales obtenidos y la longitud de los diferentes tramos analizados. Este análisis permite visualizar el comportamiento progresivo del flujo superficial sobre las calles objeto de intervención y evaluar la acumulación de aportes a medida que el drenaje avanza dentro del sistema vial.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que las calles comprendidas entre la Calle 7A y la Calle 9 se localizan dentro de un mismo sector hidráulicamente conectado mediante carreras compartidas, se realizó el análisis de caudales transportados entre abscisas representativas del corredor vial. Las abscisas consideradas corresponden principalmente a intersecciones entre calles y carreras, donde el comportamiento del flujo superficial se encuentra influenciado por las condiciones geométricas y las pendientes definidas en el diseño vial proyectado.

El análisis desarrollado evidencia que las intersecciones funcionan como puntos de control hidráulico dentro del sistema, generando retención y acumulación temporal del flujo superficial debido al bombeo transversal proyectado del 2% adoptado para las vías. Así mismo, se observa que el comportamiento predominante del drenaje se desarrolla en sentido norte-sur, permitiendo que los aportes generados en las calles superiores se incorporen progresivamente a los tramos ubicados aguas abajo, incrementando los caudales transportados sobre el corredor vial principal.

Tabla 13. Caudales de diseño para las estructuras.

CALLE/ABSCISA	CAUDAL TRANSPORTADO ENTRE ABSCISAS (M3/S)									QTOTAL (M3/S)
	130	170	200	235	265	325	385	445	510	
Calle 7A	0.074	0.023	0.017	0.020	0.017	0.034	0.034	0.034	0.037	0.292
Calle 8	0.087	0.027	0.020	0.023	0.020	0.040	0.040	0.040	0.044	0.342
Calle 8a	0.050	0.015	0.012	0.014	0.012	0.023	0.023	0.023	0.025	0.198

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Calle 8b	0.061	0.019	0.014	0.016	0.014	0.028	0.028	0.028	0.030	0.238
Calle 8c						0.034	0.034	0.034	0.037	0.139
Calle 9	0.200	0.061	0.046	0.054	0.046	0.023				0.430
QTOTAL (M3/S)	0.47	0.15	0.11	0.13	0.11	0.18	0.16	0.16	0.17	

Fuente: Propia.

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

6. VERIFICACIONES Y DISEÑOS HIDRÁULICOS

El presente capítulo corresponde a la verificación hidráulica del comportamiento del drenaje superficial asociado al diseño vial proyectado para las calles objeto de intervención dentro del municipio de Barranco de Loba. Debido a las condiciones topográficas predominantes en el sector, caracterizadas por pendientes longitudinales bajas y ausencia de sistemas de drenaje pluvial, el funcionamiento hidráulico del proyecto depende principalmente de la capacidad de las vías para conducir superficialmente las escorrentías generadas durante eventos de lluvia. Estas condiciones hacen necesario evaluar el comportamiento hidráulico de la calzada y verificar que las pendientes definidas en el diseño vial permitan una adecuada evacuación del flujo superficial sin generar afectaciones sobre la movilidad y la estabilidad del pavimento proyectado.

El análisis desarrollado permitió identificar que las pendientes longitudinales y transversales definidas en el diseño vial inducen un comportamiento hidráulico tipo calle-canal, donde la calzada funciona como superficie principal de captación y conducción del flujo superficial. Bajo esta condición, las aguas lluvias generadas sobre las áreas aferentes y sobre la propia superficie pavimentada son conducidas progresivamente a lo largo de las vías, concentrándose en intersecciones, carreras receptoras y puntos de descarga definidos dentro del sistema vial proyectado. Debido a ello, el comportamiento hidráulico del proyecto se encuentra estrechamente ligado a la configuración geométrica de las vías y a las condiciones de continuidad hidráulica presentes entre calles y carreras.

Así mismo, el comportamiento hidráulico observado evidencia que, especialmente en el sector comprendido entre las calles 7A y 9, los aportes superficiales se acumulan progresivamente en sentido norte-sur, incorporándose sucesivamente a los tramos ubicados aguas abajo. Estas condiciones permiten establecer una continuidad hidráulica natural sobre la superficie vial, aprovechando las rasantes definidas dentro del diseño de pavimento y favoreciendo la conducción superficial de las aguas lluvias hacia los puntos de evacuación identificados.

La verificación hidráulica realizada busca evaluar la capacidad del sistema vial proyectado para conducir adecuadamente los caudales de diseño obtenidos en el análisis hidrológico, verificando que las pendientes, geometría de calzada y estructuras de drenaje propuestas permitan un funcionamiento seguro y eficiente del drenaje superficial. Adicionalmente, se analizan las condiciones de concentración del flujo en intersecciones y puntos críticos, considerando que el bombeo transversal proyectado del 2% genera puntos de control hidráulico y acumulación temporal del flujo superficial en determinados sectores del corredor vial. Estas condiciones resultan particularmente importantes en zonas urbanas de baja pendiente, donde pequeñas variaciones de rasante pueden modificar significativamente el comportamiento hidráulico del sistema.

Debido a las características suburbanas del área de estudio y a la ausencia de infraestructura pluvial formal en el municipio, el sistema propuesto prioriza soluciones de drenaje superficial mediante conducción controlada sobre la calzada, estructuras longitudinales, rejillas y cruces hidráulicos localizados. Esta solución permite mantener un sistema técnicamente viable, funcional y adaptable a futuras intervenciones urbanas, evitando la implementación de obras de drenaje de alta complejidad que puedan condicionar el desarrollo futuro de nuevas vías o redes de drenaje dentro del sector intervenido. De esta manera, el sistema planteado busca garantizar un manejo adecuado de las escorrentías superficiales, manteniendo condiciones de operación seguras y compatibles con las condiciones urbanas y topográficas actuales del municipio.

6.1. Método de análisis

Para la verificación hidráulica del drenaje superficial asociado al proyecto vial se empleó la ecuación de Manning, herramienta ampliamente utilizada para estimar la capacidad de conducción de flujo en canales y superficies hidráulicas bajo condiciones de flujo uniforme. Esta metodología permite relacionar parámetros como la pendiente, la geometría de la sección y la rugosidad del material con la velocidad y el caudal transportado, permitiendo evaluar el comportamiento hidráulico de las vías proyectadas y de las estructuras de drenaje superficial planteadas.

Debido a las bajas pendientes existentes y a la ausencia de sistemas pluviales formales en el sector, el drenaje superficial se desarrolla principalmente sobre la superficie vial, generando un comportamiento hidráulico tipo calle-canal donde las vías funcionan como elementos de captación y conducción del flujo superficial. Así mismo, el análisis considera la acumulación progresiva de aportes entre calles e intersecciones, especialmente en sentido norte-sur para la mayor parte del sistema analizado.

Para el análisis hidráulico se empleó la ecuación de Manning en conjunto con la ecuación de continuidad, permitiendo verificar la capacidad hidráulica, velocidades y condiciones generales de funcionamiento del sistema de drenaje propuesto. Lo anterior permitió establecer soluciones acordes con las condiciones topográficas y urbanas del área de estudio, garantizando una adecuada conducción de las aguas lluvias sobre las vías intervenidas.

$$Q = \frac{1}{n} \left(A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right) \text{ Formula de Manning}$$

$$Q = AV \text{ Ecuación de continuidad}$$

Donde:

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

V: Velocidad del flujo, en metros por segundo (m/s)

A: Área mojada, en metros cuadrados (m²)

n: coeficiente de rugosidad de Manning

R: Radio hidráulico, en metros (m)

S: pendiente, en m/m

Q: Caudal que transporta la sección, en m³/s

6.2. Parámetros de diseño

En el análisis hidráulico de las estructuras de drenaje superficial es necesario considerar parámetros que garanticen tanto la capacidad de conducción como el adecuado funcionamiento del sistema proyectado. Entre estos se encuentran la velocidad admisible del flujo, el borde libre y el coeficiente de rugosidad de Manning, los cuales permiten verificar condiciones de estabilidad hidráulica, seguridad y eficiencia en la conducción de las aguas lluvias.

La velocidad admisible corresponde a la máxima velocidad que puede desarrollarse dentro de la estructura sin generar procesos erosivos o afectaciones sobre el revestimiento, mientras que el borde libre representa la altura adicional entre la lámina de agua y el borde superior de la sección, proporcionando un margen de seguridad ante variaciones del caudal o condiciones de operación. Por su parte, el coeficiente de Manning representa la resistencia hidráulica del material de revestimiento y constituye uno de los parámetros fundamentales para la estimación de velocidades y capacidades hidráulicas mediante la ecuación de Manning.

La adecuada selección de estos parámetros permitió verificar que las estructuras y superficies de conducción propuestas operen de manera segura y eficiente bajo las condiciones hidráulicas definidas para el proyecto, manteniendo coherencia con las características topográficas, urbanas y funcionales del área de estudio.

6.2.1. Pendientes

Las pendientes longitudinales y transversales proyectadas de la estructura del pavimento se presentan a continuación:

Tabla 14. Pendientes proyectadas en las vías.

Nomenclatura de la vía	Tramo	Longitud de la vía (m)	Pendiente proyectada (%)
Carrera 1L	1	37.74	0.0576

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

	2	18.18	0.9351
	3	36.80	0.7880
	4	34.39	0.4071
	5	32.87	1.4907
Calle 7A	1	510.00	0.0681
Calle 8	1	510.00	0.1902
Calle 8a	1	510.00	0.0167
Calle 8b	1	510.00	0.0776
Calle 8c	1	240.00	0.1208
Calle 9	1	280.00	0.0392

Fuente: Propia.

6.2.2. Coeficiente de Manning

El coeficiente de Manning (aunque realmente no es adimensional) nos indica la resistencia a la cual el fluido es capaz de fluir. Su determinación no es fácil debido a que no existe un método exacto, pero por pruebas de varios investigadores se puede inferir una buena aproximación de este.

Dentro de la literatura técnica en este tema podemos utilizar los siguientes valores de coeficiente de Manning el cual es un ponderado de situaciones como cambios estacionales, alineamiento del canal, material en suspensión y flotante, etc.

Tabla 15. Coeficiente de Manning.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con grava en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.106	0.019	0.023

Fuente: Hidráulica de canales abiertos-Ven Te Chow

6.2.3. Velocidades admisibles

El flujo debe transportarse en un rango de velocidades. Una mínima en la cual posea una capacidad de arrastre que impida la sedimentación y el crecimiento de plantas acuáticas; y la otra máxima para que no llegue a erosionar el fondo y los taludes del canal.

Se recomienda un rango de velocidades entre 0.50 – 5.00 m/s.

Tabla 16. Velocidades máximas permisibles en canales artificiales.

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)
Ladrillo común	3.0
Ladrillo vitrificado	5.0
Arcilla vitrificada (gres)	4.0
Concreto 175 kg/cm ²	6.0
Concreto 210 kg/cm ²	10.0
Concreto 280 kg/cm ²	15.0
Concreto 350 kg/cm ²	20.0

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS.

6.2.4. Borde libre

Es la distancia vertical entre la superficie del agua y el contorno superior del canal. No existe un consenso para establecer el valor o magnitud del borde libre, pero este se encuentra entre un 20%-25% del tirante normal.

6.3. Verificaciones y diseños

Se analizaron los diferentes tramos del sistema vial bajo condiciones de flujo uniforme, identificando sectores críticos asociados principalmente a pendientes longitudinales bajas y a la acumulación progresiva de caudales superficiales sobre las vías receptoras. Conforme a los lineamientos establecidos en el Manual de Drenaje para Carreteras de INVIAS, se adoptó un período de retorno de 5 años y se evaluaron intensidades de lluvia acordes con los tiempos de concentración obtenidos para las áreas aferentes analizadas. Con base en estos criterios se verificó la capacidad hidráulica de las vías y de las estructuras proyectadas para garantizar una adecuada conducción de las aguas lluvias dentro del sistema vial intervenido.

6.3.1. Calle canal

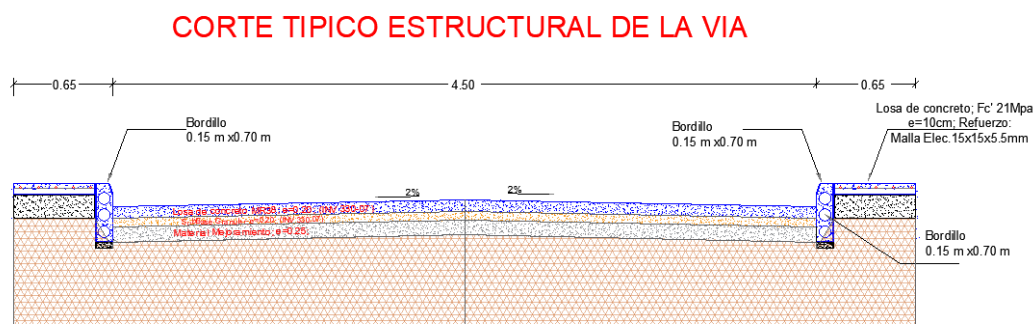
Para evaluar inicialmente la capacidad hidráulica de las vías con andenes para transportar el caudal generado, se plantea analizar la sección vial como un canal superficial de drenaje, en el cual el flujo es conducido longitudinalmente a través de la calzada y confinada lateralmente por bordillos y andenes. Este análisis permite verificar si la geometría existente o proyectada posee capacidad suficiente para evacuar los caudales de escorrentía sin generar desbordamientos, afectaciones a predios o invasión excesiva sobre las zonas peatonales.

La evaluación se realiza considerando que la escorrentía superficial circula principalmente sobre la superficie pavimentada de la vía, aprovechando la pendiente longitudinal y la pendiente transversal de la calzada para conducir el flujo hacia los puntos bajos o estructuras de captación proyectadas. Para ello, la sección hidráulica se idealiza como un canal de sección rectangular y teniendo en cuenta la presencia de bordillos y andenes que serían los límites del canal. Así

mismo, el diseño vial proyectado contempla una sección transversal con bombeo o pendiente a dos aguas, condición que favorece la conducción superficial del flujo desde el eje de la vía hacia ambos costados de la calzada. Bajo este comportamiento hidráulico, los costados funcionan como receptores principales.

En este caso, se evaluará el tramo crítico que sería el correspondiente a la calle 9, el cual presenta el caudal y pendiente longitudinal crítico.

Ilustración 15. Sección típica de proyecto.



Fuente: propia.

CALLE 9

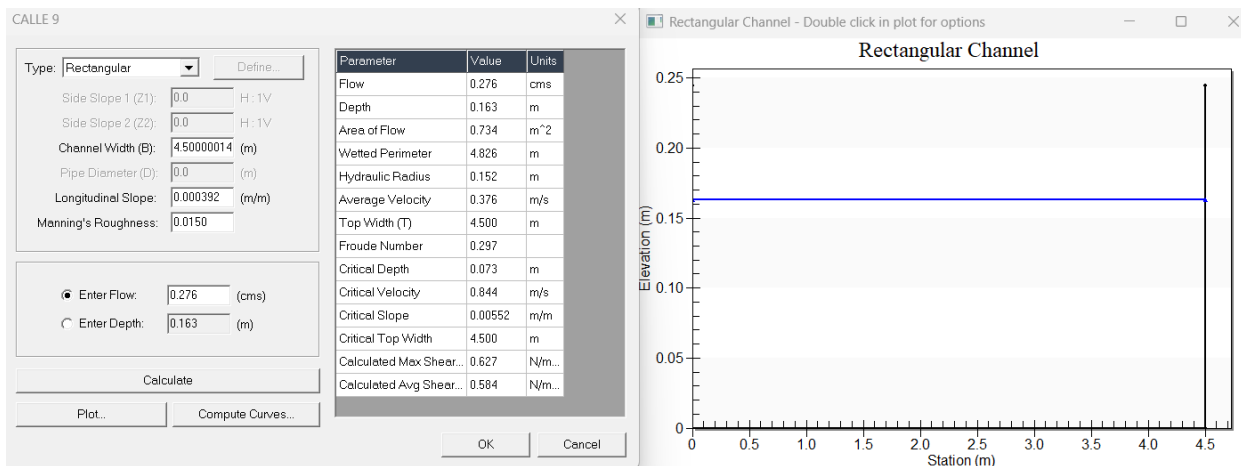
Dado que esta calle, es el tramo que más recibe caudal directo, respecto a las restantes por diseñar, dadas las áreas aportantes y teniendo en cuenta que presenta la pendiente longitudinal más baja será objeto de diseño y verificación. Para la estimación del caudal crítico transportado, se adoptó como longitud de análisis el tramo de intersección más representativo, correspondiente a una longitud aproximada de 130 m. Asimismo, se consideró una longitud aferente adicional de 50 m asociada a las vías e intersecciones localizadas aguas arriba que descargan hacia este sector, permitiendo representar de manera más adecuada la concentración progresiva de escorrentía sobre la calle-canal evaluada.

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Ilustración 16. Diseño hidráulico de la calle 9.



En este caso, se puede observar que el flujo se da cerca de 16 centímetros en la vía evaluada. Por lo cual se debe garantizar al menos 18 centímetros, desde el nivel terminado de la vía. Se garantiza un borde libre adicional respecto al nivel crítico encontrado. La velocidad se encuentra cerca de 0.9 m/s, presentando un comportamiento adecuado.

6.3.2. Alternativas para el drenaje en intersecciones

Con base en el análisis hidráulico realizado, se identificó que las intersecciones y callejones adyacentes corresponden a los sectores con mayor probabilidad de acumulación temporal de escorrentía, debido a que estos puntos funcionan como zonas de encuentro, concentración y salida del flujo superficial proveniente de las vías proyectadas. La conformación de nuevas rasantes, pendientes y bordillos sobre las vías intervenidas modifica parcialmente el comportamiento natural del drenaje, favoreciendo la conducción progresiva de caudales hacia estos puntos bajos del sistema vial, así como la acumulación en ellos dada la infraestructura con nuevas cotas.

Durante las visitas de campo se observó que los callejones evaluados presentan baja ocupación urbana y una limitada presencia de viviendas con acceso directo sobre dichos tramos. En consecuencia, las posibles acumulaciones de agua identificadas no representarían afectaciones significativas sobre infraestructura sensible, accesos principales o corredores de movilidad de alta importancia dentro del sector. Bajo estas condiciones, la necesidad de implementar obras adicionales de drenaje debe analizarse considerando no solo el comportamiento hidráulico,

sino también la magnitud real de las posibles afectaciones y las condiciones urbanas existentes aguas abajo.

Aunque técnicamente podrían plantearse alternativas complementarias de manejo hidráulico para interceptar o conducir los caudales concentrados en las intersecciones, tales como cunetas, rejillas, sumideros o sistemas de conducción pluvial, la implementación de este tipo de soluciones implicaría acelerar y concentrar el transporte de escorrentías hacia sectores ubicados aguas abajo. Esta condición podría trasladar parcialmente la problemática hidráulica hacia zonas con vías en afirmado y sin infraestructura de drenaje adecuada, incrementando potencialmente procesos erosivos y afectaciones progresivas sobre sectores que actualmente no corresponden directamente al área beneficiada por el proyecto vial.

Por lo anterior, las soluciones hidráulicas complementarias antes mencionadas serán presentadas dentro del presente estudio únicamente como alternativas conceptuales de manejo hidráulico en caso de que futuras etapas de intervención urbana requieran este tipo de infraestructura. No obstante, bajo las condiciones actuales del sector y considerando las características topográficas, urbanas y funcionales identificadas, se considera técnicamente viable priorizar inicialmente el aprovechamiento de la conducción superficial natural sobre las vías proyectadas, permitiendo que el drenaje continúe desarrollándose de manera similar al comportamiento hidráulico actualmente existente en el municipio.

PROTECCIÓN SUPERFICIAL EN PUNTOS DE DESCARGA

Como medida complementaria de mitigación frente a posibles procesos erosivos en los sectores receptores del flujo superficial, podría contemplarse la colocación localizada de material granular o material pétreo sobre los puntos de descarga y conducción de escorrentías ubicados en calles y carreras en afirmado. Esta medida tendría como finalidad disminuir la energía del flujo superficial proveniente de las vías pavimentadas, reduciendo el arrastre de finos y el deterioro progresivo de las superficies no intervenidas durante eventos de lluvia.

La implementación de este tipo de protección superficial resulta coherente con las condiciones urbanas actuales del sector, debido a que no implica la construcción de infraestructura hidráulica adicional ni modifica significativamente el comportamiento natural del drenaje existente. Así mismo, corresponde a una solución de bajo impacto y menor costo, compatible con la dinámica actual de conducción superficial observada en el municipio de Barranco de Loba.

Dependiendo de las condiciones particulares de cada punto de descarga, podrían emplearse materiales como grava triturada, rajón pequeño, recebo seleccionado o capas granulares estabilizadas, buscando mejorar la resistencia superficial del terreno frente a la circulación de escorrentías concentradas. En caso de requerirse, estas medidas podrían complementarse con geotextiles o pequeñas conformaciones superficiales que ayuden a estabilizar las zonas más susceptibles a erosión.

CUNETAS

Como alternativa de manejo hidráulico complementario, podría evaluarse la implementación de cunetas en los callejones e intersecciones que no serán intervenidos y donde se prevé concentración de escorrentía proveniente de las vías proyectadas. Estas estructuras permitirían captar y conducir superficialmente el flujo acumulado hacia puntos bajos o sectores de descarga definidos, reduciendo la permanencia de agua en dichos tramos. Su implementación requeriría definir pendientes, dimensiones hidráulicas y puntos de entrega acordes con los caudales estimados para cada intersección crítica.

Sin embargo, la construcción de cunetas implicaría conducir los caudales hacia sectores aguas abajo, trasladando parcialmente la problemática hidráulica hacia otras zonas que actualmente no hacen parte del alcance de intervención del proyecto. Esta condición podría generar la necesidad de futuras obras complementarias de drenaje y adecuación hidráulica en vías no proyectadas, incrementando considerablemente los costos de inversión. Adicionalmente, sería necesario contemplar estructuras de entrega, dissipación o descarga final que permitan controlar adecuadamente el flujo transportado.

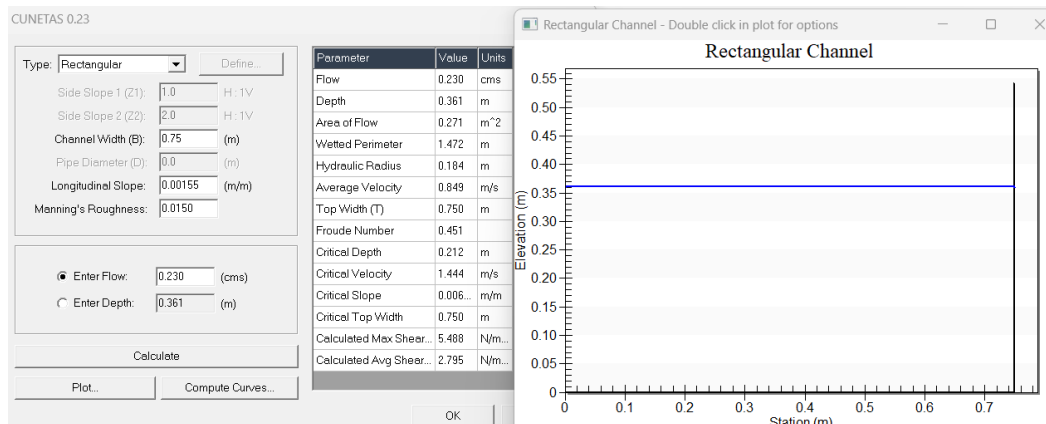
En este caso se propone la implementación de cunetas ubicadas a cada lado de la vía, de manera que las bocacalles encaucen el agua directo a ellas o se pongan rejillas en las intersecciones que intercepten el agua.

En los callejones de intersecciones de la abscisa 0+130, que corresponde a la carrera 3, se tendría el siguiente tipo de cuneta:

De esta manera se obtuvo una sección de cruce con las siguientes características:

- Tipo de sección: Rectangular
- Ancho superficial: 70 centímetros
- Profundidad: 40 centímetros
- Material revestimiento: 0.015 (concreto)

Ilustración 17. Cuneta carrera 3.

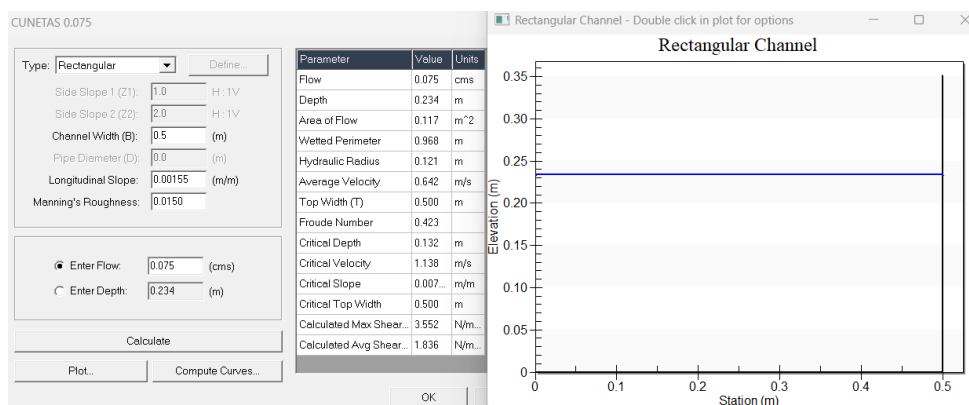


En los callejones de intersecciones de la abscisa 0+170, 0+200, 0+235, 0+265 0+325, 0+385 y 0+445 que corresponde a la carrera 2B, carrera 2C, carrera 2D, carrera 2, carrera 1M BIS, carrera 1M y carrera 1L BIS respectivamente, se tendría el siguiente tipo de cuneta:

De esta manera se obtuvo una sección de cruce con las siguientes características:

- Tipo de sección: Rectangular
- Ancho superficial: 50 centímetros
- Profundidad: 40 centímetros
- Material revestimiento: 0.015 (concreto)

Ilustración 18. Cuneta carrera 2B, 2C, 2D y 2.



Se evaluaron las condiciones para cada caso, encontrando las anteriores secciones, de ser elegidas las cunetas como solución. Para los casos anteriores,

abarcarán una longitud de al menos 200 metros que serían los tramos que interceptan las vías proyectadas. En este sentido, se tendría que utilizar rejillas en las intersecciones de manera que se pueda captar las aguas, con anchos correspondientes a los anchos superficiales de las cunetas proyectadas ya que atravesarían estas intersecciones.

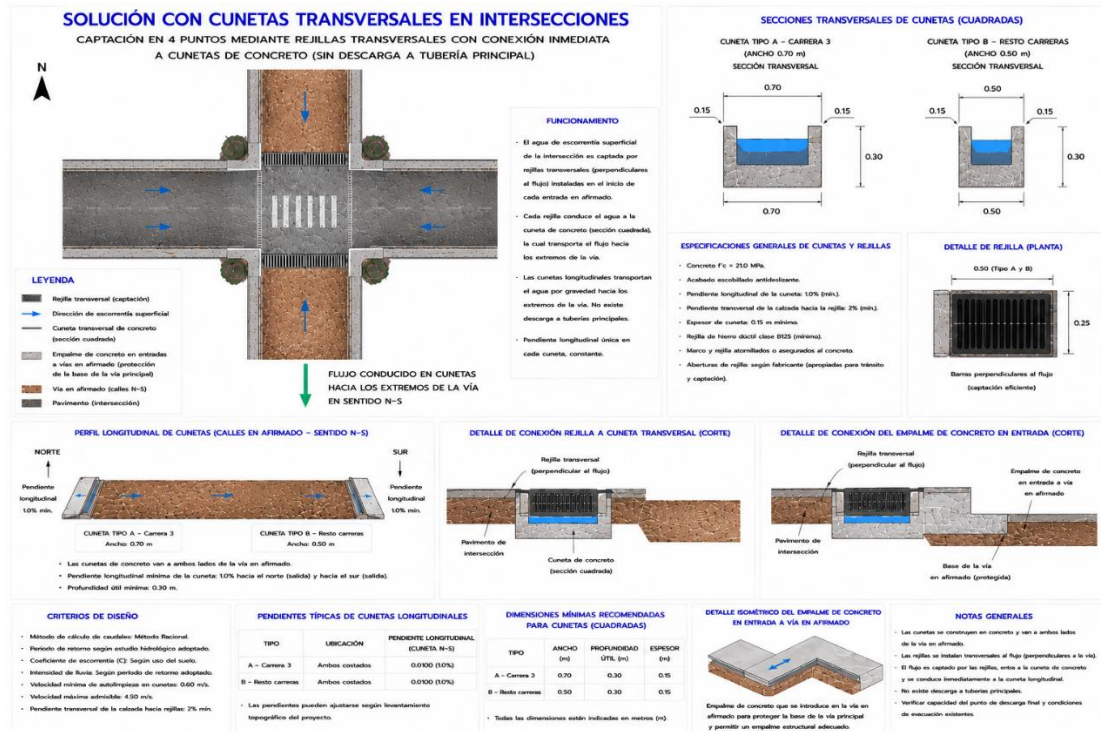
Considerando que las intersecciones evaluadas presentan tránsito mixto, incluyendo paso ocasional de vehículos pesados y circulación frecuente de motocicletas, las rejillas propuestas deberán garantizar tanto capacidad hidráulica como condiciones adecuadas de seguridad y estabilidad estructural.

Para este tipo de aplicación, se recomienda el uso de rejillas metálicas dúctiles o en hierro fundido de alta resistencia, con barras longitudinales en el sentido del flujo y aberturas reducidas para evitar atrapamiento o inestabilidad de motocicletas. En términos generales, puede contemplarse una separación libre entre barras del orden de 2.0 cm a 3.0 cm, valor que permite mantener capacidad de captación sin comprometer la seguridad vial.

En cuanto a dimensiones, para cunetas localizadas en intersecciones o puntos de concentración de escorrentía, pueden proponerse rejillas modulares con anchos entre 0.40 m y 0.60 m, dependiendo del ancho de la cuneta y del caudal captado. La longitud de cada módulo puede variar entre 0.50 m y 1.00 m, facilitando instalación, mantenimiento y reposición individual de piezas. Para sectores de mayor aporte hidráulico, también podría considerarse la instalación de varias rejillas consecutivas o rejillas continuas sobre tramos cortos de la cuneta.

la implementación de este tipo de infraestructura requeriría considerar aspectos adicionales relacionados con mantenimiento periódico, sedimentación, obstrucción por residuos y estabilidad de las estructuras metálicas frente al tránsito vehicular. Asimismo, la captación eficiente mediante rejillas incrementaría la conducción de caudales hacia aguas abajo, por lo que sería necesario verificar las condiciones de descarga y la capacidad hidráulica de los sectores receptores antes de definir una solución definitiva.

Ilustración 19. Sistema de cunetas.



SISTEMA DE SUMIDEROS Y TUBERÍAS PLUVIALES

Como alternativa de manejo hidráulico complementario, se plantea la implementación de un sistema de sumideros conectados mediante tuberías pluviales en las intersecciones y callejones donde se identifique concentración significativa de escorrentía proveniente de las vías proyectadas. Este sistema tendría como objetivo captar de manera puntual los caudales acumulados y conducirlos hacia sectores de descarga previamente definidos, disminuyendo la permanencia de agua en los puntos bajos del sistema vial.

La solución propuesta requeriría la instalación de sumideros en las intersecciones críticas, acompañados de tuberías pluviales dimensionadas de acuerdo con los caudales aportantes y las pendientes disponibles en el sector. Asimismo, sería necesario incorporar estructuras complementarias como cámaras de inspección, rejillas de captación y obras de entrega o disipación en los puntos de descarga final. La implementación de este sistema implicaría trasladar de manera más rápida y concentrada los caudales hacia sectores localizados aguas abajo, lo que podría generar la necesidad de futuras obras complementarias de drenaje en vías que actualmente no hacen parte del alcance de intervención del proyecto. Adicionalmente, esta alternativa representa mayores costos de construcción y

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

mantenimiento asociados a excavaciones, instalación de tuberías y limpieza periódica de las estructuras hidráulicas. A continuación, se presentan las capacidades de las tuberías de acuerdo con los siguientes parámetros:

Tabla 17. Parámetros de diseño.

Parámetro	Valor
Manning n	0.0015
Pendiente S	0.0016
Factor de diseño (85%)	0.85
Velocidad mínima (m/s)	0.6
Velocidad máxima (m/s)	3

Tabla 18. Capacidades de diferentes diámetros de tubería según condiciones de diseño.

Diámetro (in)	D (m)	Área (m²)	Radio (m)	Qcap (m³/s)	Qdisp (85%)
4	0.1016	0.008107	0.0254	0.01868107	0.015879
5	0.127	0.012668	0.03175	0.03387104	0.02879
6	0.1524	0.018241	0.0381	0.05507805	0.046816
8	0.2032	0.032429	0.0508	0.11861743	0.100825
10	0.254	0.050671	0.0635	0.2150677	0.182808
12	0.3048	0.072966	0.0762	0.3497238	0.297265
14	0.3556	0.099315	0.0889	0.5275334	0.448403
16	0.4064	0.129717	0.1016	0.75317371	0.640198
18	0.4572	0.164173	0.1143	1.03110259	0.876437
20	0.508	0.202683	0.127	1.36559479	1.160756
24	0.6096	0.291864	0.1524	2.2206077	1.887517
30	0.762	0.456037	0.1905	4.02622965	3.422295
36	0.9144	0.656693	0.2286	6.54709334	5.565029

El cálculo de la tubería se realiza a continuación:

Carrera 3:

Tabla 19. Cálculo de tubería para carrera 3.

Intervalo	x (m)	Q(x)	10"	12"	14"	16"	18"	Diámetro sugerido	A	Velocidad (m/s)	Cumple V
-----------	-------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-------------------	---	-----------------	----------

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

1	40	0.2	No	Sí	Sí	Sí	Sí	12"	0.07296588	2.74100728	OK
2	80	0.261	No	Sí	Sí	Sí	Sí	14"	0.09931467	2.62801065	OK
3	120	0.311	No	No	Sí	Sí	Sí	16"	0.12971711	2.3975248	OK
4	160	0.398	No	No	Sí	Sí	Sí	18"	0.16417322	2.42426866	OK
5	200	0.472	No	No	No	Sí	Sí	18"	0.16417322	2.87501208	OK

Carrera 2B, carrera 2C y carrera 2D:

Tabla 20. Cálculo de tubería para Carrera 2B, carrera 2C y carrera 2D

Intervalo	x (m)	Q(x)	8"	10"	12"	Diámetro sugerido	A	Velocidad (m/s)	Cumple V
1	40	0.061	Sí	Sí	Sí	8"	0.03242928	1.88101625	OK
2	80	0.08	Sí	Sí	Sí	8"	0.03242928	2.46690655	OK
3	120	0.095	Sí	Sí	Sí	8"	0.03242928	2.92945153	OK
4	160	0.122	No	Sí	Sí	10"	0.05067075	2.40770079	OK
5	200	0.145	No	Sí	Sí	10"	0.05067075	2.8616116	OK

Carrera 2, carrera 1M BIS, carrera 1M y carrera 1L BIS

Tabla 21. Cálculo de tubería para Carrera 2, carrera 1M BIS, carrera 1M y carrera 1L BIS

Intervalo	x (m)	Q(x)	8"	10"	12"	Diámetro sugerido	A	Velocidad (m/s)	Cumple V
1	20	0.057	Sí	Sí	Sí	8"	0.03242928	1.75767092	OK
2	60	0.085	Sí	Sí	Sí	8"	0.03242928	2.62108821	OK
3	100	0.108	No	Sí	Sí	10"	0.05067075	2.13140726	OK
4	140	0.148	No	Sí	Sí	10"	0.05067075	2.92081736	OK
5	180	0.182	No	Sí	Sí	12"	0.07296588	2.49431662	OK

La solución propuesta requeriría la instalación de sumideros en las intersecciones críticas, acompañados de tuberías pluviales dimensionadas de acuerdo con los caudales aportantes y las pendientes disponibles en el sector. Asimismo, sería necesario incorporar estructuras complementarias como cámaras de inspección, rejillas de captación y obras de entrega o disipación en los puntos de descarga final. La implementación de este sistema implicaría trasladar de manera más rápida y concentrada los caudales hacia sectores localizados aguas abajo, lo que podría generar la necesidad de futuras obras complementarias de drenaje en vías

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas

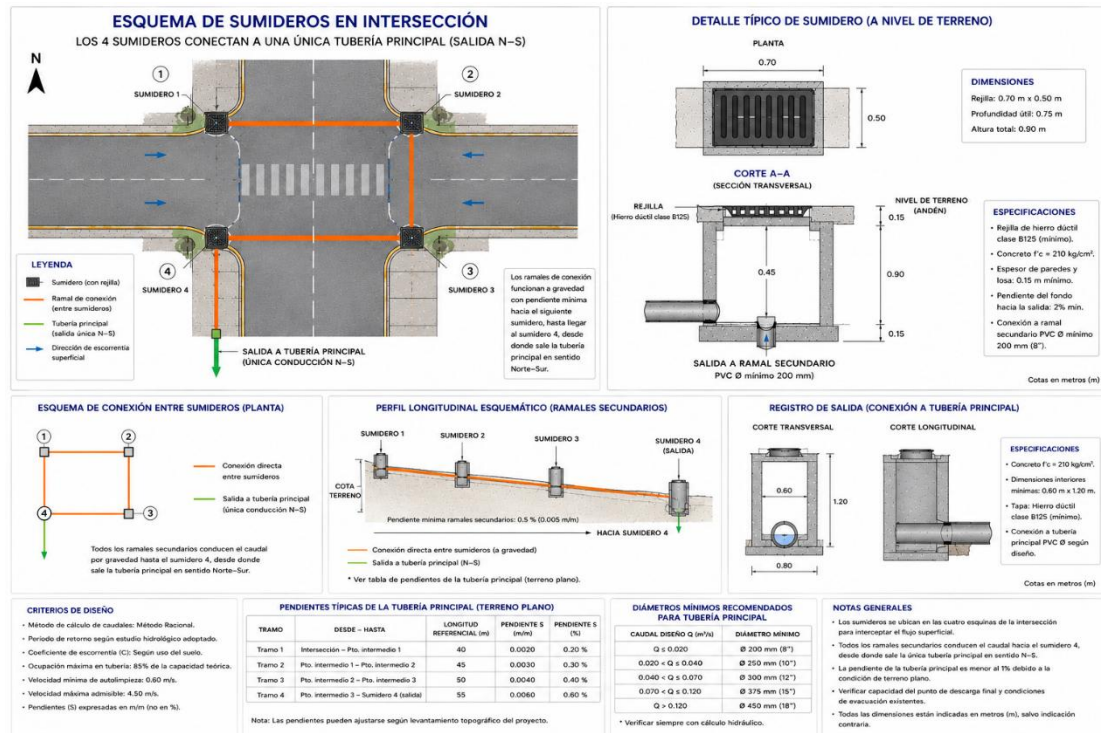
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

que actualmente no hacen parte del alcance de intervención del proyecto. Adicionalmente, esta alternativa representa mayores costos de construcción y mantenimiento asociados a excavaciones, instalación de tuberías y limpieza periódica de las estructuras hidráulicas. A continuación, se presentan las capacidades de las tuberías de acuerdo con los siguientes parámetros:

Ilustración 20. Planteamiento del sistema.



6.4. Punto de descargas

El análisis hidráulico desarrollado para el presente proyecto permitió identificar que el comportamiento predominante del drenaje superficial dentro del área intervenida se desarrolla principalmente en sentido norte-sur para la mayor parte de las vías analizadas, generando una concentración progresiva de escorrentías sobre las carreras y callejones receptores ubicados aguas abajo.

Con base en estas condiciones, se estableció como criterio principal de diseño el aprovechamiento de la conducción superficial natural de las aguas lluvias, permitiendo que el flujo continúe desplazándose por gravedad hacia los sectores bajos identificados dentro del corredor vial. Esta condición resulta coherente con la dinámica actual del municipio, donde las aguas lluvias son transportadas principalmente sobre la superficie de calles, carreras y zonas laterales, debido a la ausencia de sistemas formales de drenaje pluvial enterrado.

David Romero Ramos

Ingeniero civil

Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062

Correo: ing.davidromeror@gmail.com

Así mismo, debe considerarse que la implementación de soluciones hidráulicas orientadas a captar y evacuar rápidamente los caudales acumulados en las intersecciones, mediante tuberías o sistemas de conducción cerrada, implicaría trasladar la problemática hidráulica hacia sectores ubicados aguas abajo. En consecuencia, la incorporación de este tipo de infraestructura requeriría ampliar considerablemente el alcance del proyecto, incluyendo nuevas obras de conducción, estructuras de entrega, disipación y adecuación hidráulica en vías y corredores que actualmente no hacen parte de la intervención proyectada.

Adicionalmente, alcanzar un punto de descarga técnicamente adecuado demandaría inversiones considerablemente mayores, asociadas a la construcción de redes pluviales de mayor longitud, excavaciones profundas, cruces de vías y posibles intervenciones sobre infraestructura urbana existente. Esta condición resulta especialmente relevante considerando que el sector intervenido corresponde a una zona parcialmente consolidada, con limitaciones geométricas y urbanísticas para la incorporación de sistemas pluviales convencionales.

Por otra parte, se identificó que gran parte de los sectores receptores del flujo superficial corresponden a callejones y carreras con baja densidad de ocupación y limitada presencia de accesos directos a viviendas. Debido a ello, las posibles acumulaciones temporales de escorrentía no representarían afectaciones significativas sobre infraestructura sensible ni sobre corredores principales de movilidad dentro del sector analizado. Bajo este escenario, la necesidad de implementar sistemas de evacuación de mayor complejidad debe evaluarse considerando no solo criterios hidráulicos, sino también la magnitud real de las afectaciones esperadas y la viabilidad económica de las intervenciones requeridas.

La conducción acelerada de escorrentías hacia sectores aguas abajo podría incrementar procesos erosivos sobre calles en afirmado y zonas sin intervención vial, especialmente durante eventos de lluvia de alta intensidad. Debido a ello, cualquier futura implementación de sistemas enterrados de drenaje deberá desarrollarse conjuntamente con obras complementarias de estabilización y adecuación vial en los sectores receptores.

En consecuencia, la solución hidráulica planteada prioriza la utilización de estructuras superficiales de drenaje, que permitan mantener continuidad hidráulica sobre las vías intervenidas, controlando el flujo superficial sin requerir redes enterradas de gran escala ni descargas concentradas hacia otros sectores del municipio. De esta manera, el sistema proyectado se integra funcionalmente a las condiciones actuales del área urbana intervenida, manteniendo una solución técnicamente viable, adaptable y acorde con las características topográficas y urbanas del municipio de Barranco de Loba.

7. CONCLUSIONES

El análisis hidrológico e hidráulico desarrollado para el proyecto permitió identificar que el comportamiento predominante del drenaje superficial dentro del área intervenida se encuentra controlado principalmente por las pendientes longitudinales proyectadas y por la configuración geométrica del sistema vial. Debido a las bajas pendientes existentes en el municipio de Barranco de Loba y a la ausencia de infraestructura formal de drenaje pluvial, las vías proyectadas funcionan hidráulicamente como canales superficiales de conducción, permitiendo transportar las escorrentías generadas sobre la calzada y las áreas aferentes adyacentes.

Los resultados obtenidos evidencian que las secciones viales proyectadas presentan capacidad hidráulica suficiente para conducir los caudales estimados para el período de retorno adoptado, manteniendo velocidades compatibles con condiciones estables de operación y sin requerir, en términos generales, sistemas enterrados de drenaje pluvial de gran complejidad. Así mismo, se identificó que las intersecciones corresponden a los puntos de mayor concentración de flujo superficial debido a la acumulación progresiva de aportes entre calles y carreras receptoras.

Se identificó que, debido a la descarga de escorrentías provenientes de vías pavimentadas hacia sectores con calles en afirmado, podrían presentarse procesos erosivos localizados en algunos puntos receptores del flujo superficial. Bajo estas condiciones, la implementación localizada de materiales granulares o pétreos de protección superficial representa una medida complementaria técnicamente viable para disminuir el deterioro progresivo de las superficies receptoras sin requerir infraestructura hidráulica adicional.

Aunque técnicamente es posible implementar sistemas complementarios de drenaje en las intersecciones mediante sumideros, tuberías o estructuras de captación, se concluyó que este tipo de soluciones podría trasladar la problemática hidráulica hacia sectores ubicados aguas abajo, donde actualmente no existen condiciones adecuadas de evacuación ni infraestructura vial consolidada. Esta situación resulta especialmente importante considerando que gran parte de las carreras y callejones receptores corresponden a vías en afirmado y sectores con limitada intervención urbana, condición que podría favorecer procesos erosivos, deterioro progresivo de las vías y futuras afectaciones sobre zonas actualmente no intervenidas por el proyecto.

Adicionalmente, se identificó que los sectores receptores del flujo superficial corresponden principalmente a callejones y carreras con baja densidad de

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com

ocupación y escasa presencia de accesos directos a viviendas. Bajo estas condiciones, las posibles acumulaciones temporales de escorrentía no representarían afectaciones significativas sobre infraestructura sensible ni sobre corredores principales de movilidad urbana. Debido a ello, la implementación de sistemas de drenaje enterrado en intersecciones no resulta hidráulica ni económicamente prioritaria dentro del alcance actual del proyecto.

Se identificó igualmente la necesidad de incorporar bocacalles en concreto en las intersecciones entre vías pavimentadas y calles en afirmado, con el fin de controlar adecuadamente la transición hidráulica del flujo superficial y reducir posibles procesos erosivos asociados a descargas concentradas sobre superficies no pavimentadas.

Finalmente, se concluye que la solución basada en conducción superficial controlada mediante la propia sección vial y elementos localizados de continuidad hidráulica, representa una alternativa técnicamente viable y coherente con las condiciones urbanas, topográficas y funcionales actuales del municipio de Barranco de Loba. Esta solución permite garantizar el manejo adecuado de las escorrentías superficiales sin condicionar futuras intervenciones urbanas ni generar impactos hidráulicos significativos sobre sectores externos al proyecto.

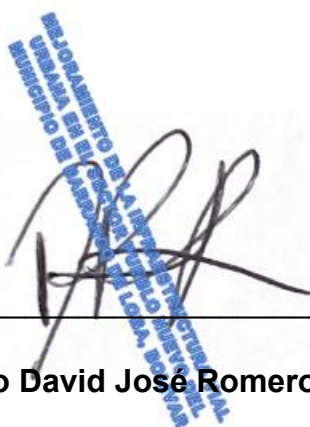
8. RECOMENDACIONES

Para garantizar la correcta implementación, funcionamiento y durabilidad de la infraestructura propuesta:

- Se recomienda garantizar la correcta conformación de las pendientes longitudinales y transversales definidas en el diseño vial, debido a que el funcionamiento hidráulico del sistema depende principalmente de la capacidad de conducción superficial sobre las vías proyectadas. Así mismo, durante la etapa constructiva deberá verificarse que las rasantes permitan mantener continuidad hidráulica en intersecciones y puntos de descarga, evitando depresiones locales que favorezcan acumulaciones permanentes de agua sobre la calzada.
- De igual manera, se considera necesario proyectar e implementar bocacalles en concreto en todas las intersecciones intervenidas, con el fin de proteger los empalmes entre vías pavimentadas y calles en afirmado, controlar adecuadamente la transición del flujo superficial y disminuir la posibilidad de generación de procesos erosivos asociados a la descarga concentrada de escorrentías. Estas estructuras permitirán mejorar el comportamiento hidráulico local y reducir el deterioro progresivo de las zonas de transición entre pavimento y vías no intervenidas.
- Se recomienda la colocación localizada de material granular o pétreo en los puntos de descarga superficial, especialmente sobre la carrera 3, y en sectores donde se identifiquen concentraciones de escorrentía abundantes sobre vías en afirmado, con el fin de disminuir posibles procesos erosivos y reducir el deterioro progresivo de las superficies receptoras durante eventos de lluvia. Estas medidas podrán desarrollarse de manera puntual y progresiva, de acuerdo con el comportamiento observado durante la operación del sistema vial proyectado.
- Con base en las condiciones identificadas durante el análisis hidráulico, se recomienda no priorizar la construcción de sistemas enterrados de drenaje pluvial en las intersecciones dentro del alcance actual del proyecto. La implementación de este tipo de soluciones requeriría conducir los caudales hacia sectores aguas abajo donde actualmente no existen puntos de descarga adecuados ni infraestructura vial consolidada, condición que podría trasladar la problemática hidráulica hacia otras zonas del municipio y generar mayores afectaciones a largo plazo sobre vías en afirmado y sectores no intervenidos.
- Adicionalmente, la implementación de redes pluviales enterradas implicaría intervenir sectores aguas abajo que actualmente no corresponden a las áreas

directamente beneficiadas por el proyecto de pavimentación, condición que incrementaría significativamente el alcance técnico y económico de las obras requeridas. Esta situación resulta particularmente relevante considerando que las zonas receptoras corresponden principalmente a callejones y carreras con baja presencia de viviendas y limitada afectación directa sobre la comunidad.

- Finalmente, se recomienda realizar seguimiento al comportamiento hidráulico de las vías durante los primeros eventos de lluvia posteriores a la ejecución del proyecto, con el fin de verificar el funcionamiento real de la conducción superficial planteada e identificar posibles puntos de acumulación localizada que requieran ajustes menores o medidas complementarias puntuales. De igual manera, futuras intervenciones urbanas o proyectos de pavimentación en sectores aguas abajo deberán contemplar integralmente el comportamiento hidráulico del sistema vial, permitiendo desarrollar soluciones de drenaje progresivas y compatibles con la expansión urbana del municipio.



Ingeniero David José Romero Ramos

Ingeniero Civil – Especialista en ingeniería de Sistemas Hídricos Urbanos

MP. 021037-0500450 ATL

David Romero Ramos

Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería de Sistemas
Hídricos Urbanos

Celular: +57 3002802062
Correo: ing.davidromeror@gmail.com