

**MEJORAMIENTO DE VÍA Terciaria EN PAVIMENTO RIGIDO EN
BONDIGUA-PASO DEL MANGO MUNICIPIO DE SANTA MARTA
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.**

INFORME HIDROLÓGICO E HIDRAULICA

MUNICIPIO DE SANTA MARTA, MAGDALENA

ENERO DE 2024

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
4. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO.....	8
4.1. CLIMA Y PRECIPITACIÓN	9
5. CUENCAS HIDROGRÁFICAS	11
5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CUENCAS	11
5.1.1. Geometría y cotas cuenca	15
5.1.2. Análisis del patrón de drenaje	16
5.2. SISTEMA DE DRENAJE.....	18
5.2.1. Densidad de drenaje	18
5.2.2. Orden de las corrientes (Strahler)	19
5.3. Tiempos de Concentración, Tc	19
5.3.1. Fórmula de Kirpich	19
5.3.2. Ecuación de Témez	19
5.3.3. Ecuación de Giandotti	20
5.3.4. Ecuación de V.T. Chow.....	20
5.3.5. Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.....	20
5.3.6. Ecuación de SCS – Ranser	21
6. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	21
6.1. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS.....	22
6.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS.....	24
6.3. DISTRIBUCIÓN GUMBEL	25
6.3.1. Análisis de frecuencias hidrológicas.....	26
6.3.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)	27

6.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	29
6.4.1. Tamaño de cuencas	29
6.5. DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS	30
6.5.1. Método de las abstracciones del Soil Conservation Service	30
7. ESTUDIO HIDRÁULICO	34
7.1. DISEÑO DE OBRAS MENORES	34
7.1.1. Alcantarillas	34
7.1.2. Criterios de diseño (alcantarillas)	35
7.2. ALCANTARILLAS	35
7.2.1. Criterios de Henderson y Chow	35
7.2.2. Henderson	36
7.2.3. Chow	36
7.3. Valores de Escorrentía para Diseño de alcantarilla	37
7.3.1. Diámetro mínimo	38
7.3.2. Verificación de capacidad hidráulica (H_w)	38
7.3.3. Arrastre de sedimentos	39
7.3.4. Velocidad máxima	39
7.3.5. Tipos de flujo en alcantarillas	39
7.3.6. Control a la entrada	40
7.3.7. Cálculo de alcantarillas flujo gradualmente variado	41
7.3.8. Resultados obtenidos	42
7.4. CUNETA	45
7.4.1. Profundidad normal	46
7.4.2. Velocidad mínima	46
7.4.3. Velocidad máxima	46
7.4.4. Cuneta diseñada	47
8. INVENTARIO OBRAS	48
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
10. BIBLIOGRAFÍA	50
11. ANEXOS	51

1. INTRODUCCIÓN

El componente hidrológico e hidráulico está comprendido por el clima el cual constituye un conjunto de condiciones de la atmósfera, que caracterizan el estado o situación del tiempo atmosférico y su evolución en un lugar dado. Por medio de este se puede determinar por análisis espacio-tiempo, los elementos que lo definen y los factores que lo afectan. Entre los elementos del clima se tienen precipitación, temperatura, humedad, brillo solar, vientos, entre otros; los dos primeros son los más importantes por cuanto permiten definir, clasificar y zonificar el clima de una región dada, en tanto que los otros se presentan como atributos caracterizadores de las unidades ya definidas.

Los estudios hidrológicos en general estudian los procesos que sufre el agua en los escenarios de estudio.

El presente estudio se realizó con información proveniente de entidades como el IGAC y el IDEAM ya que con esta información se logra buenos resultados y, adicionalmente estas entidades son las que contienen la mayor información geográfica y climatológica del territorio nacional por lo que algunos resultados pueden ser aplicados a gran parte del área del municipio de SANTA MARTA, dicha información es específicamente las curvas IDF.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones climáticas e hidrológicas para el proyecto **MEJORAMIENTO DE VÍA Terciaria en Pavimento Rígido en Bondigua-Paso del Mango Municipio de Santa Marta Departamento del Magdalena.**, con el fin de realizar una evaluación hidráulica, para el manejo eficiente del caudal por escorrentía aferente a la vía.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información climática, geología e hidrología correspondiente al área de estudio.
- Estimar caudales generados por escorrentía.
- Elaboración de las curvas IDF de la zona de estudio.
- Morfometría de cuencas
- Diseñar estructuras para la evacuación del caudal de las obras de drenaje vial (Cunetas, Alcantarillas, Box culvert).

3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto MEJORAMIENTO DE VÍA Terciaria en Pavimento Rígido en Bondigua-Paso del Mango Municipio de Santa Marta Departamento del Magdalena., pretende mejorar en total 3,169 kilómetros de la vía (distribuidos en 4 tramos) que se encuentran en mal estado; además de la construcción de obras de drenaje.

A continuación, se presenta la localización general de los tramos a intervenir:

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 1	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	1326 M	N = 11°13'59.75" E = 74° 0'6.93"	N = 11°13'38.91" E = 74° 7'29.39"
		ABSCISA INICIO K0+000	ABSCISA FINAL K1+326

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 2	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	245M	N = 11°13'37.90" E = 74° 7'27.92"	N = 11°13'33.93" E = 74° 7'20.97"
		ABSCISA INICIO K1+380	ABSCISA FINAL K1+625

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 3	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	358 M	N = 11°13'32.70" E = 74° 7'20.00"	N = 11°13'23.18" E = 74° 7'14.34"
		ABSCISA INICIO K1+672	ABSCISA FINAL K2+030

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 4	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	219 M	N = 11°13'21.14" E = 74° 7'11.92"	N = 11°13'16.18" E = 74° 7'6.97"
		ABSCISA INICIO K2+126	ABSCISA FINAL K2+345

CUADRO DE COORDENADAS			
TRAMO 5	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	1021M	N = 11°13' 41,05" E = 74°7' 12,85"	N= 11°13' 28,56" E = 74°7' 15,16"
		ABSCISA INICIO K2+345	ABSCISA FINAL K3+366

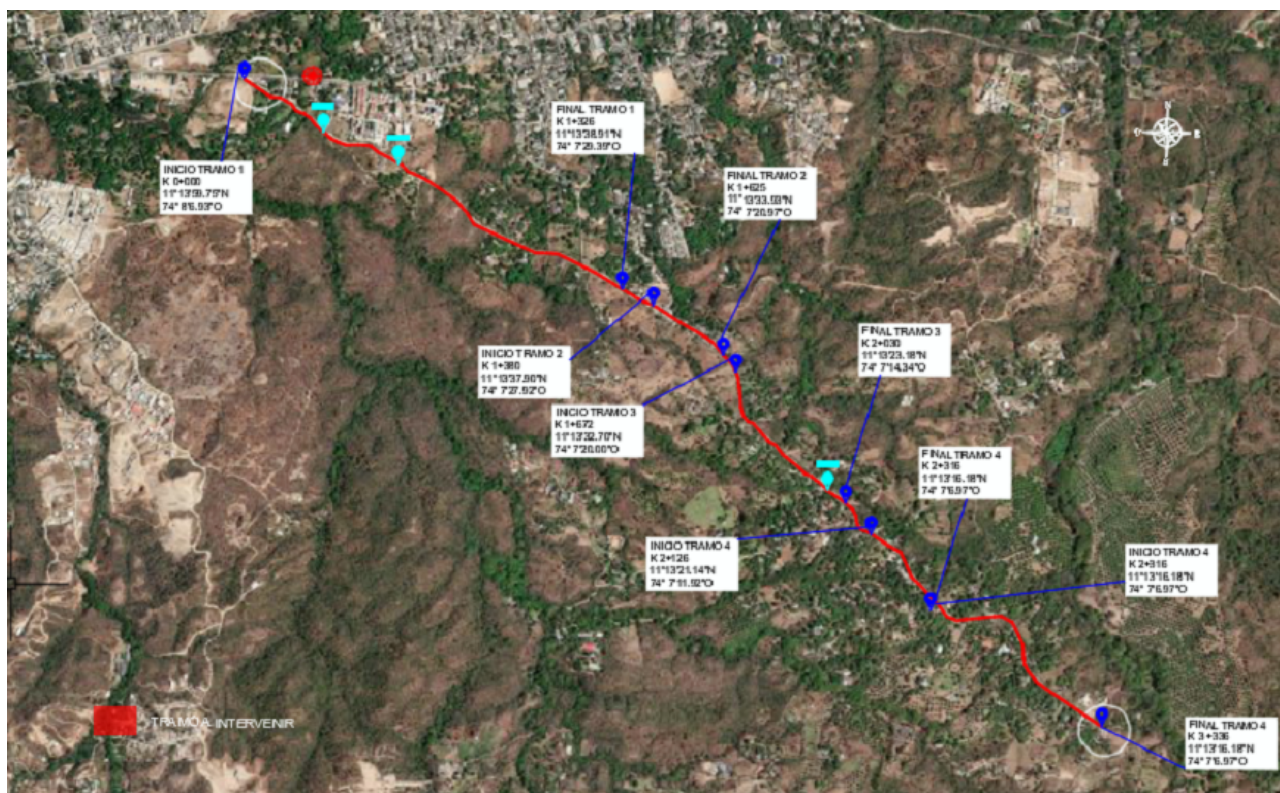


Ilustración 1. Ubicación tramos a intervenir

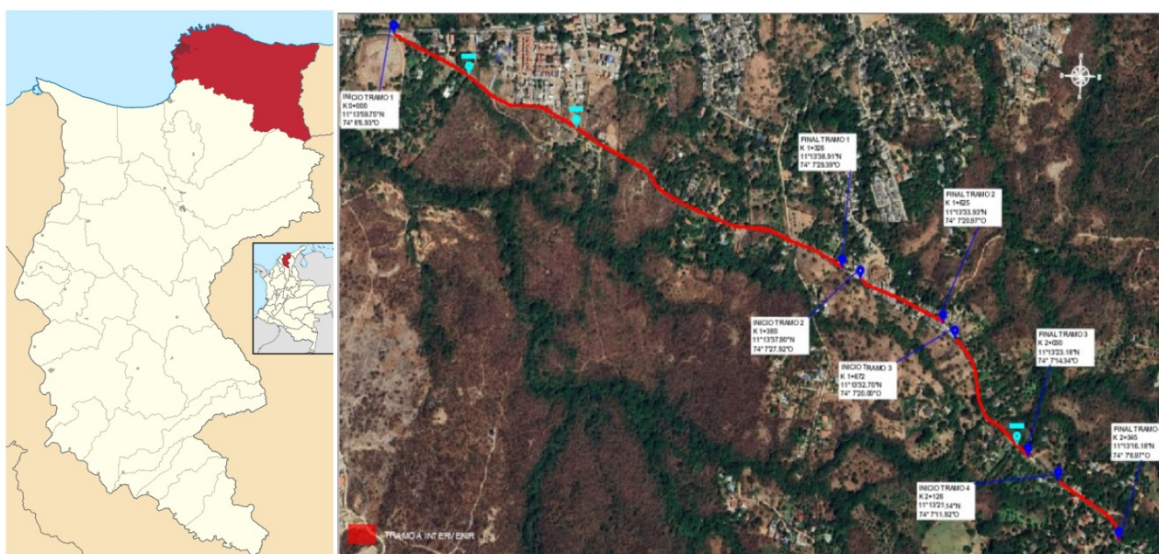


Ilustración 2. Ubicación geográfica vía en estudio – Tramo 1,2,3,4,5

4. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

Santa Marta, es un distrito de Colombia, capital del departamento de Magdalena. Fue fundada el 29 de julio de 1525 por el español Rodrigo de Bastidas, lo que según los textos, la convierte en la ciudad en pie más antigua de Colombia. Se encuentra a orillas de la bahía del mismo nombre. Desde 1991 fue organizada constitucionalmente como *Distrito Turístico, Cultural e Histórico*.⁴

Es conocida por sus actividades turísticas, la historia de sus calles y sus playas.⁵ El balneario El Rodadero es uno de los principales destinos del Caribe colombiano. Su casco urbano se encuentra entre la Sierra Nevada de Santa Marta y el mar Caribe y el parque Tayrona se encuentra bajo su jurisdicción. Entre sus atracciones culturales e históricas están la Casa de la Aduana, la Catedral Basílica, la Biblioteca Banco de la República, el Seminario San Juan Nepomuceno, el Paseo Bastidas, la Quinta de San Pedro Alejandrino, la plaza de Bolívar y el parque Los Novios.

La altura promedio de la ciudad es de 2 m s. n. m. Sin embargo, en el territorio del municipio la altura se eleva hasta los 5775 m s. n. m. en el Pico Cristóbal Colón, que es el más elevado de toda Colombia. Este se encuentra ubicado en la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual es la zona montañosa costera más alta del mundo.

El centro de la ciudad se encuentra a orillas de la bahía de Santa Marta sobre el mar Caribe, en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta en el departamento del Magdalena. Esta se extiende desde punta Betín, frente al islote de El Morro, al norte, hasta punta Gaira, al sur de la zona colonial.

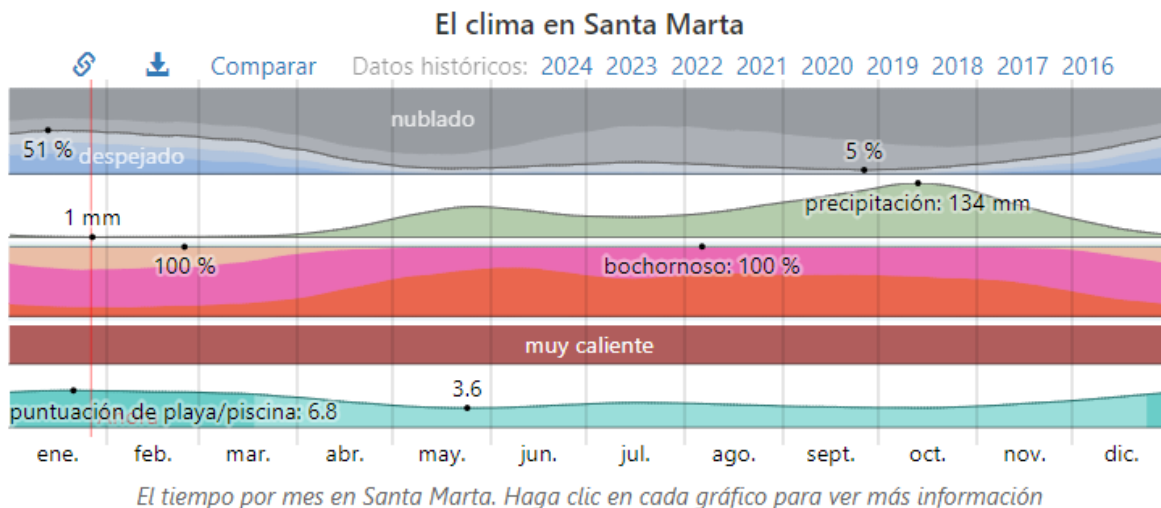


Ilustración 4. Localización del municipio de SANTA MARTA, MAGDALENA

4.1. CLIMA Y PRECIPITACIÓN

En Santa Marta, la temporada de lluvia es nublada; la temporada seca es parcialmente nublada y es muy caliente, opresivo y ventoso durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 33 °C.

En base a la puntuación de playa/piscina, la mejor época del año para visitar Santa Marta para las actividades de calor es desde *finales de diciembre* hasta *mediados de marzo*



Precipitación

Un día *mojado* es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Santa Marta varía considerablemente durante el año.

La *temporada más mojada* dura 6,3 meses, de 7 de mayo a 17 de noviembre, con una probabilidad de más del 25 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Santa Marta es *octubre*, con un promedio de 14,5 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La *temporada más seca* dura 5,7 meses, del 17 de noviembre al 7 de mayo. El mes con menos días mojados en Santa Marta es *febrero*, con un promedio de 0,2 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen *solamente lluvia*, *solamente nieve* o una *combinación* de las dos. El mes con más días con *solo lluvia* en Santa Marta es *octubre*, con un promedio de 14,5 días. En base a esta

categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es *solo lluvia*, con una probabilidad máxima del 50 % el 17 de octubre



Ilustración 5. Precipitación probabilidad

Temperatura promedio

La *temporada calurosa* dura 2,2 meses, del 13 de febrero al 19 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 31 °C. El mes más cálido del año en Santa Marta es *junio*, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y mínima de 27 °C.

La *temporada fresca* dura 3,0 meses, del 3 de octubre al 4 de enero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C. El mes más frío del año en Santa Marta es *enero*, con una temperatura mínima promedio de 24 °C y máxima de 31 °C.

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C
Temp.	27 °C	27 °C	28 °C	28 °C	29 °C	29 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	27 °C
Mínima	24 °C	24 °C	25 °C	26 °C	27 °C	27 °C	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C	25 °C	24 °C

Ilustración 6. Mapa de temperatura anual

5. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CUENCAS

La Sierra Nevada de Santa Marta se divide en tres grandes hoyas o macrocuencas conformadas por un sistema de 30 ríos principales. La macrocuenca del Caribe incluye todos los ríos que desembocan directamente al mar, el extremo norte de la vertiente occidental, y el río Ranchería.

En esta macrocuenca de occidente a oriente se encuentran los ríos: Córdoba, Toribio, Gaira, Manzanares, Piedras, MendiHuaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, San Salvador, Ancho, Cañas, Maluisa, Jerez, Tapias, Camarones y Ranchería.

La macrocuenca Occidental está conformada por los ríos que vierten sus aguas a la Ciénaga Grande de Santa Marta, tales como los ríos Frío, Sevilla, Tucurínca, Aracataca y Fundación.

La tercera macrocuenca está conformada por los tributarios del río Cesar tales como el Badillo, Guatapurí, Azúcarbuena o Cesarito, Los Clavos, Diluvio y Ariguaní.

En la Sierra Nevada nacen las aguas que abastecen los acueductos de todos los asentamientos que la circundan, con una población aproximada de 1.5 millones de habitantes y las distintas industrias agrícolas, ganaderas, y mineras ubicadas en su área de influencia. Los ríos procedentes del macizo, aportan unos diez mil millones de metros cúbicos de agua anuales.

Sin embargo, la creciente disminución de la cobertura vegetal en la mayoría de sus cuencas unido con el cambio climático han acentuado en los últimos años la inestabilidad hídrológica.

Por esta razón, la Fundación Nevada de Santa Marta ha encaminado una buena parte de sus esfuerzos en los últimos años hacia actividades que contribuyan a estabilizar y aumentar la disponibilidad de agua para la población campesina e indígena, las Ciénaga y Santa Marta, y la zona de influencia de la SNSM. Al estar ubicada entre la Sierra Nevada y el mar, la capital de Magdalena tiene el beneficio de estar rodeada por corrientes de agua que recorren gran parte de su geografía, desde la zona urbana hasta la rural, formando así un territorio bañado por agua.

En su perímetro urbano, Santa Marta cuenta con dos ríos que recorren un total de 68.17 kilómetros de su territorio: Gaira y Manzanares. Estos dos cuerpos de agua bordean gran parte del área noroccidental de la ciudad, beneficiando a una población de alrededor de 400 mil habitantes, según explica la directora del Departamento Administrativo Distrital de Sostenibilidad Ambiental, Dadsa, Patricia Caicedo.

Estas dos corrientes pertenecen a la subzona hidrográfica del Río Piedras – Río Manzanares, que a su vez están adscritas a la zona Caribe – Guajira, que es denominada área hidrográfica Caribe. Este sector fue incluido el 11 de marzo de 2019 en el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCA, emitido por la Corporación Autónoma del Magdalena, Corpamag, con el fin de planear el uso coordinado del suelo, la flora, la fauna, las cuencas y, sobre todo, del agua.

El río Gaira cuenta con 33.95 kilómetros de longitud en total, de los cuales 2.35 están en el sector urbano; nace en la estrella hídrica de San Lorenzo, a una altura aproximada de 2.150 m.s.n.m. y desemboca en el mar Caribe, en el sector del Rodadero en Santa Marta. El recorrido de sus aguas bordea la comuna Gaira – Rodadero al sur de la ciudad y su punto más alto atraviesa el corregimiento de Minca, en donde a la afluente se le nombra como río Minca.

El sistema hidrográfico de la subregión está distribuido de acuerdo con la estructura piramidal de la Sierra Nevada de Santa Marta, que debido a su ubicación geográfica y a su estatus como la montaña tropical más alta a nivel del mar, funciona como un regulador climático regional. Esta amortigua los efectos de los vientos Alisios y

genera la gran variedad de tipos climáticos, el área protegida del SFF CGSM recibe influencia de los ríos de la vertiente occidental que tributa a la Ciénaga Grande de Santa Marta, entre estos los ríos Fundación, Aracataca, Tucurínca, Sevilla y Frío. Adicionalmente del río Magdalena, ubicado en la región occidental del complejo deltaico estuarino Ciénaga Grande de Santa Marta, siendo el principal responsable de los procesos hidrodinámicos de la ecorregión, ejerce influencia crucial en el equilibrio de los niveles de sal en el agua dentro del complejo lagunar.

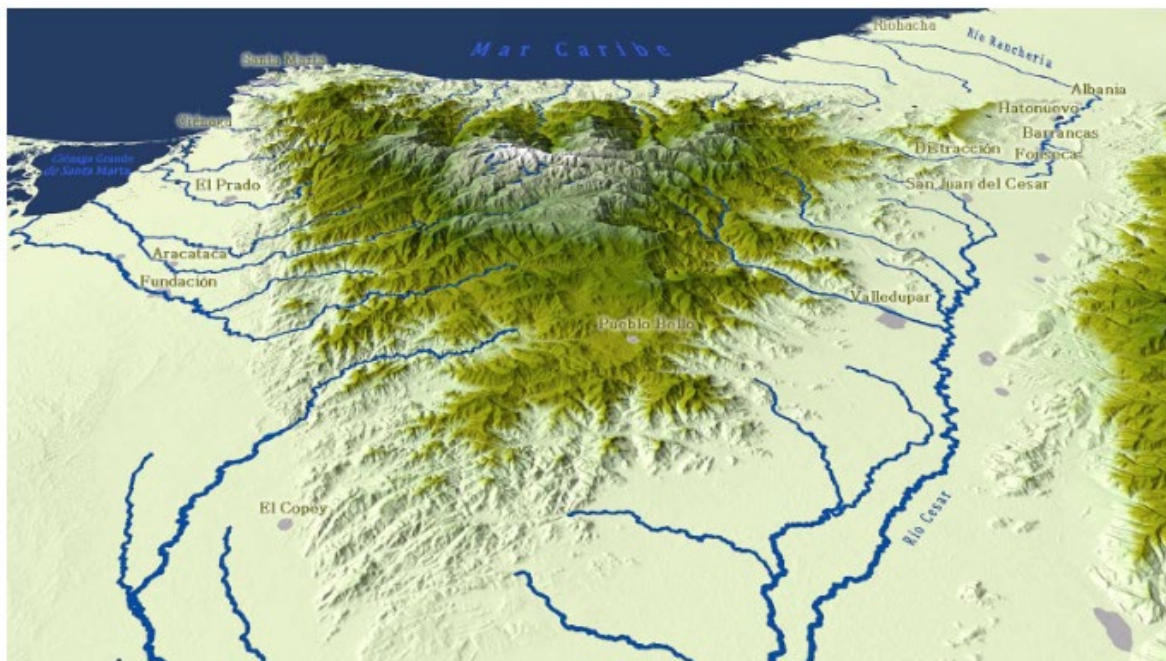
La Hidrológia del SFF CGSM se encuentra representada por diferentes cuerpos de agua, entre los más importantes se encuentran:

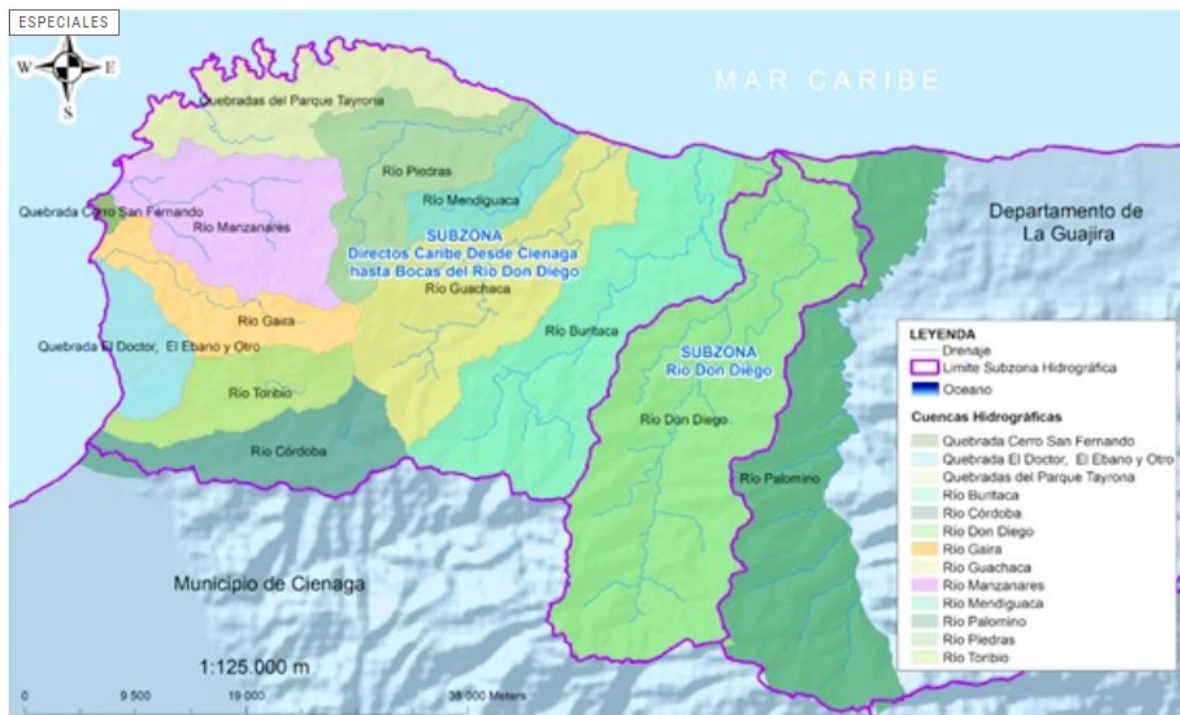
Ciénagas: La Aguja, Tigrera, Soledad, Contrabando, Tamacá, Juncal, Mendegua, la Mata, las Piedras y Don Miguel y San Juan.

Ríos: Fundación, Aracataca, y Sevilla.

Caños: Pancú. Mengajo, ají, El Jobo, el Salado, Refugio, Alfandoque, brazo Palenque El Cojo, Condazo, Frayle, Santana, los Palos, la Lechuga, el Ratón, las Puercas y el Manguito.

Mapa No. 03 Hidrografía y Cuencas Hidrográficas Santa Marta, Magdalena.





Fuente: IIGAC – Oficina de Planeación Municipal – Consultores IIAP

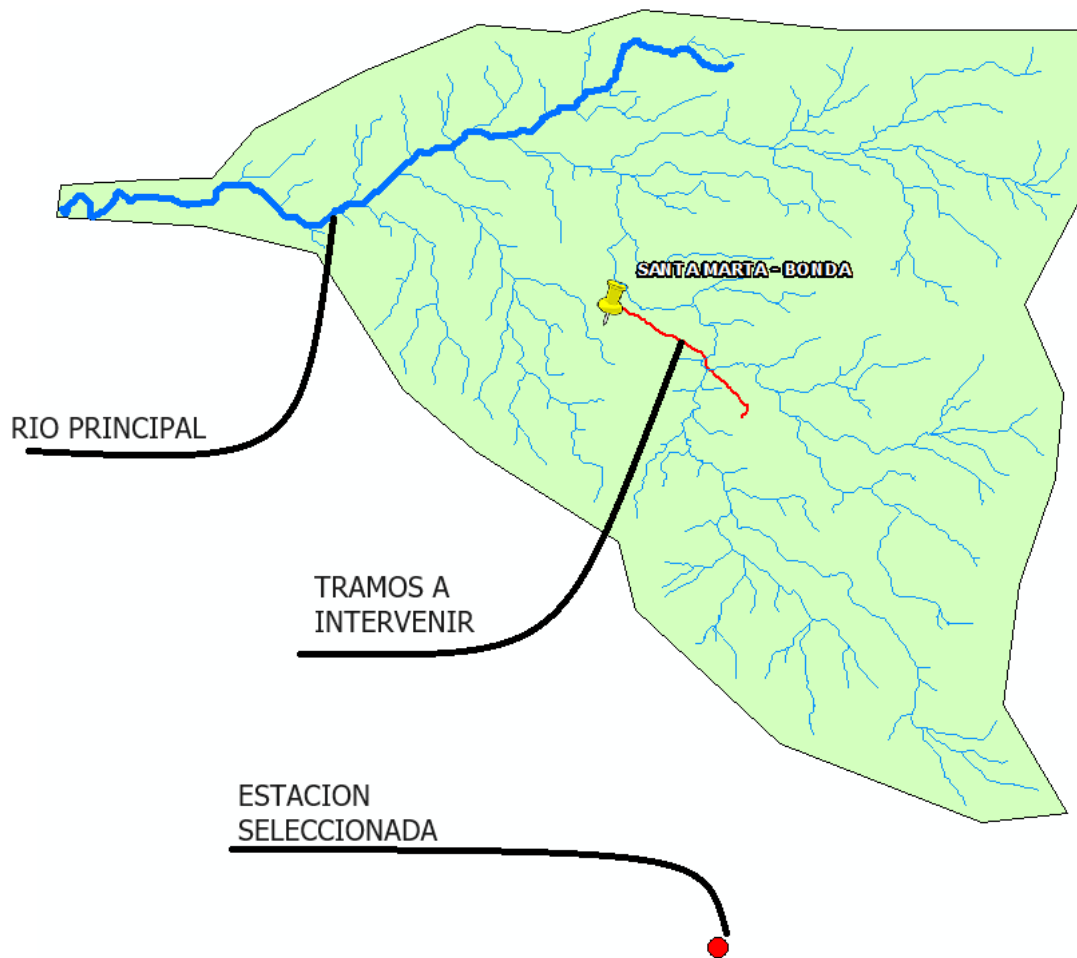


Figura: sub cuenca del proyecto, punto rojo: estación seleccionada, línea roja: vía a construir, línea azul oscura: rio principal de la sub cuenca, líneas azul claro; corrientes secundarias de la cuenca. Fuente: autor, arcgis.

Las principales características de una cuenca son:

5.1.1. Geometría y cotas cuenca

El área de una cuenca hidrográfica es la proyección horizontal incluida entre la divisoria de aguas topográfica (Monsalve Sáenz, 1995)

Debido a la ubicación de los tramos, se agrupan en dos1 partes, para así, determinar los valores de diseño representativos en cada zona (ver ilustración 1 y 2).

- Tramo 1,2,3,4,5

Para el proyecto se determinó el área de las subcuencas hidrográficas a partir de la topografía del IGAC y el modelo de elevación digital de 12.5 m por 12.5 m descargado desde el satélite Alos Palsar de Alaska Satellite Facility, y con ayuda del Sistema de Información Geográfico ArcGis se delimitan las subcuencas hidrográficas, donde sus dimensiones se presentan en la Figura 1.

ID	CUENCA	A (Ha)	P (m)	Lc (m)	COTA ALTA m.s.n.m	COTA BAJA m.s.n.m	S %
1	MINCA	11121,81	50619,82	13688,056	65,270	0,000	12,97%

Tabla 1. Área y perímetros de las cuencas del proyecto

El área de las subcuencas del proyecto se presentan en los Anexos "AREA DE SUBCUENCA ARGIS", del presente informe.

5.1.2. Análisis del patrón de drenaje

La red de drenaje la cuenca de la sierra nevada de santa marta se describe como un drenaje de tipo dendrítico como se describe a continuación:

Drenaje Dendrítico: este patrón está formado por una corriente principal con sus afluentes primarios y secundarios uniéndose libremente en todas direcciones. Son cursos pequeños, cortos e irregulares, que andan en todas las direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo. Lo anterior está condicionado por factores como litología con baja permeabilidad, mediana pluviosidad, poco caudal, baja cobertura vegetal, zonas de inicio de ladera, pendientes moderadas, laderas bajas y zonas litológicamente muy alteradas (Díaz, 2010).



Ilustración 7. Patrón de drenaje dendrítico

La red de drenaje de la cuenca de la sierra nevada de santamarta es del tipo dendrítico como se presenta en los Anexos "DELIMITACION CUENCA – TRAMO 1", del presente informe.

5.1.2.1. Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad relaciona el perímetro de una cuenca con otra teórica circular de la misma superficie.

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

En donde:

K_c Coeficiente de compacidad

P Perímetro de la cuenca (km)

A Área de la cuenca (km²)

El valor que toma esta expresión es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca; mientras más se acerque este coeficiente a uno, mayor será la tendencia de la cuenca a crecientes, pues su tiempo de concentración será menor. Valores próximos a tres (3) indican cuencas muy alargadas, con tiempos de respuesta menores ante una lluvia. (Ochoa Rubio, 2011)

5.1.2.2. Factor de forma

El factor de forma según Horton es la relación entre la superficie de la cuenca y el cuadrado. Valores pequeños de este parámetro, presentan una tendencia de la

cuenca a crecientes lentas y sostenidas. La ecuación para determinar el factor de forma se presenta a continuación:

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

Donde:

K_f Coeficiente de forma

A Área (km²)

L_c Longitud del cauce principal (km)

La Sub cuenca delimitada para los tramos 1,2,3,4 a intervenir presentan un factor de forma de 0.59, lo que indica que es moderadamente achatada (Ver Anexo "MORFOMETRIA DE LA CUENCA").

5.2. SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica está constituido por la corriente principal y sus tributarios.

5.2.1. Densidad de drenaje

Es la relación entre la longitud total de los cauces pertenecientes a su red de drenaje (L_T) y la superficie de la cuenca. Valores altos indican preponderancia del flujo en el cauce al flujo en ladera, lo que indica un menor tiempo de respuesta de la cuenca y, por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma de creciente.

$$D_d = \frac{L_T}{A}$$

Donde:

D_d Densidad de drenaje (km/km²)

L_T Longitud de la red de drenaje (km)

A Área de la cuenca (km²)

La Sub cuenca delimitada para los tramos 1,2,3,4 presenta un drenaje regular, dado que su densidad drenaje es de 1,79 km/km² (Ver Anexo "MORFOMETRIA DE LA CUENCA").

5.2.2. Orden de las corrientes (Strahler)

El orden de las corrientes es una característica fundamental del flujo y del cauce, que permite hacer un seguimiento de sus variaciones al pasar de pequeñas corrientes a grandes ríos (corrientes de orden inferior a superior).

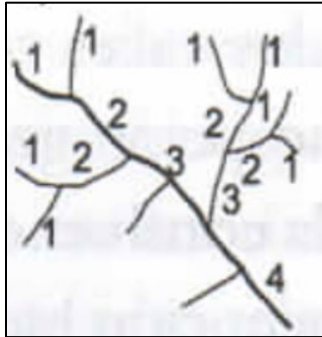


Ilustración 8. Orden de corrientes Rzhanitsin (Strahler)

5.3. Tiempos de Concentración, Tc

Las ecuaciones utilizadas para la estimación de los tiempos de concentración se reproducen a continuación:

5.3.1. Fórmula de Kirpich

$$T_C = 3.9780 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

En donde:

Tc Tiempo de concentración de la hoya hidrográfica, en min.

L Longitud del cauce principal, en km.

S Pendiente total del cauce principal, igual a la caída total entre la longitud del cauce principal, en m/m.

5.3.2. Ecuación de Témez

$$T_c = 0.30 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

En donde:

- Tc tiempo de concentración, h
- L longitud del cauce principal, km
- S pendiente total del cauce principal, m/m

5.3.3. Ecuación de Giandotti

$$T_c = \frac{(4A^{0.50} + 1.50 * L)}{25.3 * (L * S^{0.50})}$$

En donde:

- Tc tiempo de concentración, h
- A área de la cuenca, km²
- L longitud del cauce principal, km
- S pendiente del cauce principal, m/m

5.3.4. Ecuación de V.T. Chow

$$T_c = 0.273 * \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

En donde:

- Tc= tiempo de concentración, h
- L= longitud del cauce principal, km
- S= pendiente total del cauce principal, m/m

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

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

En donde:

- Tc Tiempo de concentración, h

- L Longitud del cauce principal, km
S Pendiente total del cauce principal, m/m

5.3.6. Ecuación de SCS – Ranser

$$T_c = 0.947 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

En donde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

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

H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal, en metros (m).

La determinación de los tiempos de concentración de cada una de las cuencas hidrográficas se presenta en los Anexos "MORFOMETRIA DE LA CUENCA – TRAMOS 1". Es de notar, que la ecuación de Kirpich determina un tiempo de concentración anómalo, motivo por el cual, se realiza un promedio de los diferentes métodos de cálculo de tiempos de concentración.

Tc (Kirpich) (min)	Tc (Giandotti) (min)	Tc (Temez) (min)	Tc (Chow) (min)	Tc (SCS) (min)	Tc (Army USA) (min)	Tc (min)
65,489	823,376	193,84	168,047	233,513	180,913	168

Tabla 2. Tiempo de Retención Subcuenca en el tramo 1,2,3,4

6. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El objetivo principal del presente estudio es determinar, para los distintos periodos de retorno, los volúmenes de escorrentía superficial que se generan en las cuencas que drenan hacia la vía del proyecto, con el fin de obtener los caudales de diseño

para el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas que permitan el adecuado drenaje de la corona.

Teniendo en cuenta la información suministrada por el INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA-IDEAM, se definieron las principales características pluviométricas de la zona de estudio con base en la precipitación máxima para duraciones de 24 horas mensual multianual. Con dicha información se realizó un análisis de frecuencias para estimar la probabilidad de ocurrencia en eventos futuros y se realizaron las curvas de intensidad, duración y frecuencia para los diferentes periodos de retorno.

Conforme a lo mencionado con anterioridad se realiza un análisis de frecuencias a los datos multianuales de medición de precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica LA MINCA, se determinaron las abstracciones determinando el número de curva de la cuenca hidrográfica DE LA MINCA y finalmente se determinó los caudales correspondientes a crecientes con periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

6.1. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

La información para la estimación de los caudales de diseño fue obtenida en el IDEAM y corresponde a las VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm).

CODIGO	CAT	NOMBRE	MUNICIPIO	ELEVACION	LONGITUD	LATITUD
15010010	PM	MINCA	SANTA MARTA	640	74°7'12"W	11°8'27" N

Tabla 4. Estaciones hidrometeorológicas
Fuente: Propia

Se aclara que para los tramos 1,2,3,4 , se escogió la estación MINCA ubicada en el municipio de SANTA MARTA, por ser la estación activa más cercana a la zona de estudio y representa las características de la cuenca.

Año	Ene ro	Febr ro	Marz o	Abril	May o	Juni o	Julio	Agos to	Septiem bre	Octub re	Noviem bre	Diciemb re	Máxi mo
1962	74	101	146	148	120	108	107	101	96	123	90	57	148
1963	111	117	170	165	132	158	142	123	138	139	96	105	170
1964	103	114	166	188	161	119	121	126	97	163	98	96	188
1965	92	102	153	176	125	142	116	136	137	138	101	68	176
1966	120	147	196	171	136	129	156	110	104	156	97	81	196
1967	119	117	184	168	140	143	113	118	105	133	134	64	184

1968	101	130	174	197	161	149	122	106	114	152	118	73	197
1969	100	142	183	172	156	123	135	151	126	123	91	97	183
1970	81	113	151	175	139	142	118	116	120	158	124	82	175
1971	123	141	147	164	170	158	118	124	116	172	115	70	172
1972	86	132	190	196	158	149	126	145	109	136	97	62	196
1973	115	148	194	169	142	108	123	126	103	136	129	70	194
1974	87	122	152	165	135	151	151	128	125	126	115	97	165
1975	98	144	193	175	153	110	125	106	110	123	118	96	193
1976	122	146	191	195	152	116	130	122	136	154	109	89	195
1977	122	141	151	195	158	110	129	104	110	154	118	65	195
1978	108	111	184	173	162	139	120	108	98	151	132	85	184
1979	113	124	163	152	156	111	113	130	112	160	126	70	163
1980	114	147	171	174	170	113	115	131	143	125	127	65	174
1981	120	102	177	161	148	132	132	139	106	165	109	62	177
1982	104	101	155	172	162	113	111	114	141	132	131	93	172
1983	112	123	176	149	120	136	149	144	105	135	91	58	176
1984	110	121	176	198	151	149	126	103	135	172	123	66	198
1985	81	125	165	177	126	112	146	126	144	152	90	102	177
1986	80	115	188	173	135	130	142	149	127	173	132	84	188
1987	75	113	163	188	129	157	127	111	142	159	91	63	188
1988	88	127	177	185	146	146	154	149	127	155	138	106	185
1989	119	113	160	153	159	126	113	120	144	144	113	84	160
1990	77	143	151	172	159	152	119	118	140	161	119	76	172
1991	113	101	186	156	122	157	154	108	98	129	122	61	186
1992	111	129	173	194	164	113	138	106	131	163	135	84	194
1993	123	151	169	177	147	153	110	134	122	148	123	101	177
1994	82	137	184	171	160	151	120	115	133	131	133	72	184
1995	77	105	158	183	161	157	113	123	128	170	122	94	183
1996	85	126	195	170	137	152	127	110	107	150	109	72	195
1997	79	146	146	192	124	151	155	130	142	142	112	95	192
1998	120	122	177	156	159	154	148	113	107	146	119	85	177
1999	108	111	163	160	159	156	110	121	97	134	130	72	163
2000	117	150	149	188	140	121	137	129	145	155	95	86	188
2001	123	133	192	151	160	158	149	118	119	142	125	88	192
2002	110	115	190	167	166	133	135	132	119	137	106	88	190
2003	108	130	196	183	154	124	151	121	101	166	112	88	196
2004	87	150	154	164	161	116	153	112	115	152	134	75	164
2005	91	106	194	162	136	119	119	131	135	170	121	58	194

2006	113	102	167	150	134	122	119	126	139	133	128	107	167
2007	100	136	178	181	161	140	143	139	138	136	121	75	181
2008	101	139	147	193	122	145	156	140	136	133	140	64	193
2009	95	138	149	167	126	155	118	138	144	135	127	104	167
2010	124	151	196	198	170	158	157	151	146	173	140	107	198
2011	93	141	154	178	123	112	145	126	97	159	116	104	178
2012	107	129	175	172	154	124	115	149	111	158	106	91	175
2013	92	141	192	198	146	110	137	135	106	127	115	102	198
2014	77	129	188	158	154	142	154	113	124	153	118	77	188
2015	102	107	172	166	137	139	136	131	113	161	118	77	172
2016	88	151	194	177	169	123	125	132	114	160	122	71	194
2017	108	122	157	187	169	126	145	121	97	123	95	96	187
2018	110	115	196	189	159	158	112	109	132	134	107	98	196
2019	121	119	150	195	137	117	122	137	146	133	118	93	195
2020	101	118	178	188	148	144	156	126	100	136	121	81	188
2021	75	117	176	175	142	118	137	107	104	153	118	105	176
2022	78	149	190	158	121	135	140	150	107	128	124	61	190
2023	74	101	146	148	120	108	107	101	96	123	90	57	148
max	124	151	196	198	170	158	157	151	146	173	140	107	198
MEDI A	100, 77	126,44	172, 23	174, 16	146, 82	134, 23	131, 32	124,4 8	120,31	146,18	116,03	81,85	183,00

Tabla 5. Valores máximos mensuales de precipitación (mm) en 24 horas estación

6.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS

Para determinar que los datos anuales de niveles máximos de las estaciones hidrometeorológicas presentadas en la 0 presentan independencia, lo cual quiere decir que los datos del año $i+1$ no dependan del año i , y de esa manera poder implementar una función de distribución de probabilidad (ALFREDO & TANG, 2007). Para tal fin se utilizó una prueba de rachas la cual establece lo siguiente:

$$R_T = \frac{n+1}{2}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{n-1}}{2}$$

Donde:

n número de datos de la serie analizada

R_T número teórico de rachas

σ Desviación estándar de rachas teórica

Para que una muestra tenga aleatoriedad y se puede hacer uso de la teoría de probabilidad el número de rachas reales debe estar comprendido entre el siguiente rango.

$$R_T - t_{1-\alpha}\sigma \leq R_e \leq R_T + t_{1-\alpha}\sigma$$

Donde

R_T número teórico de rachas

$t_{1-\alpha}$ cuantil para el percentil (1- α)

α nivel de significación

El análisis de rachas se realiza con un nivel de significación del 0.05 para la función de distribución de probabilidad de Gumbel. Es de resaltar, que por experiencia de esta Consultoría la función de mejor ajuste en la mayoría de los casos es la Gumbel.

6.3. DISTRIBUCIÓN GUMBEL

Se ha encontrado que la distribución del valor máximo o mínimo escogido de muestras de tamaño "n" tiende a una distribución límite cuando el tamaño de la muestra aumenta. Si se dispone de N muestras con "n" eventos cada una y se selecciona el máximo "x" de los "n" eventos de cada muestra, se sabe que, a medida que aumenta "n", la función de probabilidad de "x" tiende a: $F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$ (ALFREDO & TANG, 2007). La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \alpha e^{\left[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}\right]}$$

α y β son los parámetros de la función Gumbel.

$$\beta = \mu - 0.5772 * \alpha$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * \sigma$$

Donde:

μ Media de la población (esperanza matemática).

σ Desviación estándar de la población.

x variable aleatoria.

6.3.1. Análisis de frecuencias hidrológicas

Con los registros de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones, se elabora un análisis de frecuencia a partir de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel explicada en la sección anterior, con miras a obtener precipitaciones para diferentes periodos de retorno. (Ver tablas 7 y 8)

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	180,3337	0,5000	205,5804
5	1,4999	191,2937	0,8000	218,0748
10	2,2504	198,5502	0,9000	226,3473
25	3,1985	207,7189	0,9600	236,7995
50	3,9019	214,5207	0,9800	244,5536
100	4,6001	221,2723	0,9900	252,2504
500	6,2136	236,8741	0,9980	270,0365

Tabla 7. Precipitaciones para diferentes periodos de retorno estación LA MINCA

De esta manera, se lograron series de longitud aceptable, con las cuales el análisis de frecuencia puede llevarse con algún grado de confianza hasta un período de retorno de 100 años.

6.3.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

La intensidad de precipitación para las máximas en 24 horas para los diferentes periodos de retorno y las duraciones de precipitación específicas de cada cuenca (duración igual al tiempo de concentración o a 15 minutos si este es menor que dicho tiempo), se puede obtener a partir de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF). Las curvas IDF se pueden calcular mediante el método simplificado de Vargas M.R. y Díaz Granados O.O., según la siguiente fórmula:

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

Donde:

i Intensidad de precipitación en mm/h

T Periodo de retorno en años

M Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual

a, b, c y d Parámetros regionalizados de ajuste como se muestra en la tabla 9

REGION	a	b	c	d
ANDINA (R1)	0,940	0,180	0,660	0,830
CARIBE (R2)	24,850	0,220	0,500	0,100
PACÍFICO (R3)	13,920	0,190	0,580	0,200
ORINOQUÍA (R4)	5,530	0,170	0,630	0,420

Tabla 9. Parámetros regionalizados para obtener IDF

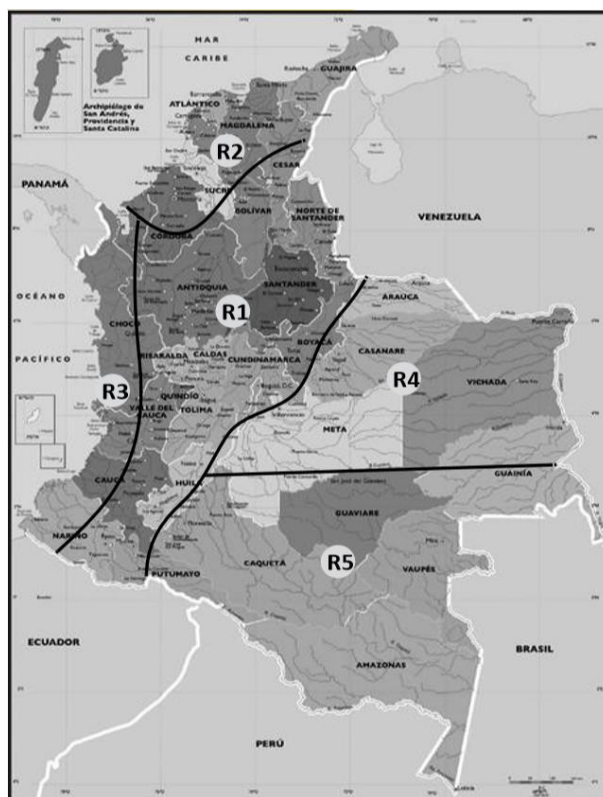


Ilustración 9. Regionalización de parámetros para estimación de IDF sintéticas según la metodología de VARGAS Y DÍAZ – GRANADOS

Para la estimación de caudales máximos mediante el uso del modelo lluvia – caudal conocido como el método Soil Conservation Service, se construye la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia para las estaciones de LA MINCA que se presenta en la tabla 10, curvas generadas con los parámetros de la región Caribe.

Frecuen cia	Duración en minutos											
años	15,00	17,00	20,00	24,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	110,00	120,00
2,00	97,43	91,52	84,37	77,02	68,89	59,66	53,36	48,71	45,10	42,19	35,98	34,45
5,00	119,19	111,96	103,22	94,22	84,28	72,99	65,28	59,59	55,17	51,61	44,01	42,14
10,00	138,82	130,40	120,22	109,75	98,16	85,01	76,03	69,41	64,26	60,11	51,26	49,08
20,00	161,69	151,88	140,03	127,83	114,33	99,01	88,56	80,84	74,85	70,01	59,71	57,17
50,00	197,80	185,80	171,30	156,37	139,87	121,13	108,34	98,90	91,56	85,65	73,04	69,93
100,00	230,38	216,41	199,52	182,13	162,91	141,08	126,19	115,19	106,65	99,76	85,07	81,45

Tabla 10. Intensidades y periodos de retorno. Estación LA MINCA

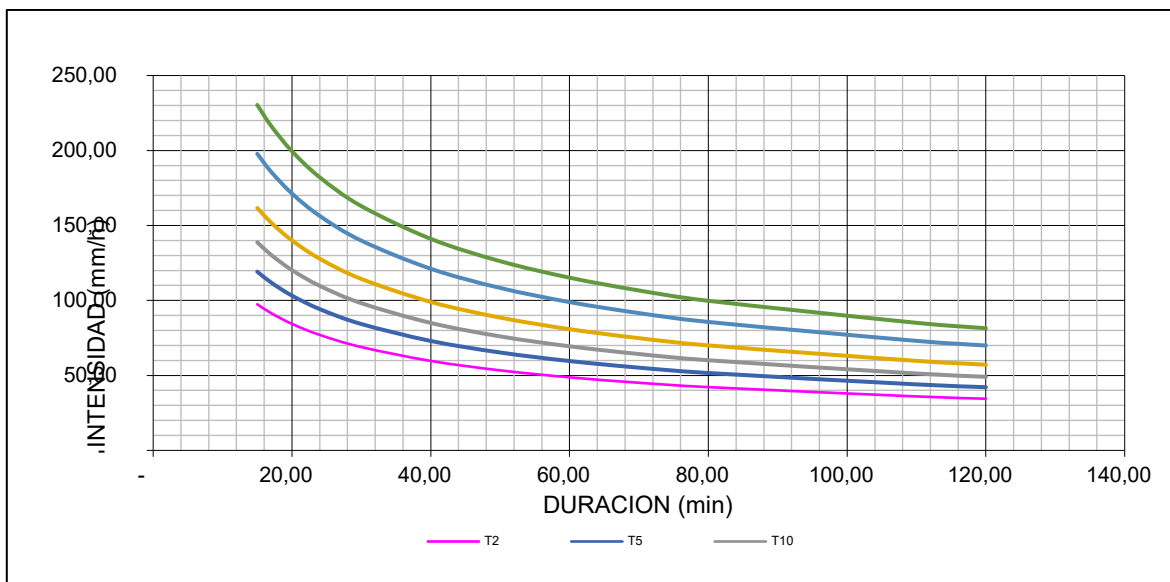


Ilustración 10. Curva IDF estación MANAGRU.

6.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

6.4.1. Tamaño de cuencas

Basándose en la topografía convencional, y otras fuentes de información como las planchas topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC y el modelo de elevación digital de 12.5 m por 12.5 m del satélite Alos Palsar, se delimitaron las cuencas involucradas con el proyecto. Esta delimitación puede apreciarse en los planos de cuencas anexo al presente informe (Ver Anexo – “*DELIMITACION CUENCA*”).

Cuando el tiempo de concentración de una cuenca es menor a 20 min y el área de la misma es menor a 0.8 km² se puede concluir que es una cuenca pequeña, de lo contrario se puede suponer como una cuenca grande. Dado que las áreas de las sub cuencas LA MINCA esta por encima de 20245 Ha. Se puede concluir que es cuenca grande, y según lo expuesto en la Federal Highway Administration se puede emplear el Método del Soil Conservation Service del número de curva para la estimación de las crecientes Tabla 9.

Método	Límites en Ha	Límites en km ²
Racional	0 – 250 Ha	0 – 2.5 km ²
Hidrograma Unitario SCS	250 – 20000 Ha	2.5 – 200 km ²

Tabla 13. Utilización del método Racional para estimación de caudales a partir de datos de precipitación

6.5. DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

6.5.1. Método de las abstracciones del Soil Conservation Service

El SCS de los Estados Unidos de América, desarrollo un método para determinar las abstracciones de una hoya hidrográfica, a partir de la determinación del número de curva (CN) que contempla las intercepciones, la retención superficial y la infiltración.

6.5.1.3. Número de curva

El número de curva varía en un rango de 1 a 100, donde dicho número depende de los siguientes factores:

- ✓ **Tipo de suelo hidrológico** donde estos se clasifican en cuatro tipos: el **A** que cuenta con bajo potencial de escorrentía, puntualmente pueden ser gravas y arenas poco profundas, el **B** que tiene un moderado bajo potencial de escorrentía con suelos de textura moderadamente fina y moderadamente gruesa, el **C** que cuenta con un moderado alto potencial de escorrentía con texturas moderadamente fina a finas y el ultimo es el **D** que tiene un alto potencial de escorrentía los cuales pueden ser suelos arcillosos con alto potencial de expansión. (Monsalve Sáenz, 1995).
- ✓ **Uso y tratamiento del suelo** el cual se caracteriza por el tratamiento que se le dé al suelo en la hoya hidrográfica y éste puede ser humus vegetal, suelo limpio, suelo para usos no agrícolas como superficies de agua, superficies impermeables y áreas urbanas.(Monsalve Sáenz, 1995)
- ✓ La **Condición hidrológica** depende principalmente de dos factores la cobertura del área y la intensidad del pastoreo. Una condición hidrológica aceptable corresponde a menos del 50% de área cubierta y alta intensidad de pastoreo, una condición hidrológica aceptable contiene una cobertura entre el 50% al 75% del área y media intensidad de pastoreo, y una condición hidrológica buena corresponde a más del 75% de cobertura y ligera intensidad de pastoreo. (Monsalve Sáenz, 1995).
- ✓ **Antecedentes de humedad** el cual se determina a partir de la cantidad de lluvia previa a la tormenta que genera el caudal de escorrentía máximo, siendo el antecedente AMC I una lluvia previa de 0.00 a 33.00 mm, un antecedente AMC II con lluvia previa de 35.00 mm a 52.50 mm y un antecedente de humedad AMC III sería con una precipitación previa de 52.50 mm en adelante.

Para determinar las abstracciones se identificó el tipo de suelo hidrológico, el uso del mismo y la condición hidrológica, cuya información se extrajo del estudio general de suelos del departamento de Córdoba. El número de curva (CN) de la sub cuenca del rio San Antonio se determinó mediante la ponderación de cada uno de los parámetros mencionados por áreas aferentes como se puede ilustrar en Los Anexos "MORFOMETRIA DE LA CUENCA –LA MINCA Es de notar, que siendo conservadores se elige el número de curva para un antecedente de humedad crítico, siendo este igual a 78.25.

6.5.1.4. Precipitación efectiva

La distribución temporal del hietograma de lluvia efectiva que causa escorrentía superficial y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de las siguientes relaciones empíricas:

$$Q = \frac{(P - 0.20S)^2}{P + 0.80S}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10.0$$

Donde:

Q Escorrentía total acumulada, pulgadas

P Precipitación total del evento, pulgadas.

S Infiltración potencial o retención potencial máxima, pulgadas.

CN Número de Curva

La precipitación efectiva para cada periodo de retorno se presenta en los Anexos "MORFOMETRIA DE LA CUENCA-LA MINCA" y cuyos resultados de lluvia efectiva para cada periodo de retorno se presentan en la Tabla 14.

ID	CUENCA	A	P 25	P 50	P 100	Fa	Pe 25	Pe 50	Pe 100
		(Ha)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)
1	MINCA	11121,81	189,44	195,64	201,80	0,69	51,32	54,46	57,61

Tabla 14. Precipitación efectiva subcuenca.

6.5.1.5. Método del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service

El hidrograma unitario es un modelo lineal simple que puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia, considerada como uniforme en el espacio y variable en el tiempo. Las siguientes suposiciones básicas son inherentes en este modelo:

- ✓ El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva y las tormentas seleccionadas para el análisis deben ser de corta duración.
- ✓ El exceso de precipitación está uniformemente distribuido en toda el área de drenaje; si ésta es muy grande, debe dividirse en subcuencas analizando tormentas que cubran toda la subárea.
- ✓ El tiempo base de la duración de la escorrentía directa resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante.
- ✓ Las ordenadas de todas las duraciones de escorrentía directa de una base de tiempo común son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada por cada hidrograma.

Como tiempo de duración de la lluvia unitaria, se consideró menor o igual a la quinta parte del tiempo de concentración. Este valor es el definido por el método mencionado.

Para una cuenca dada el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca. El hidrograma unitario se considera único para la cuenca dada, e invariable con respecto al tiempo, y es aplicable solamente cuando no se presenten cambios ni almacenamientos apreciables en la cuenca estudiada.

A pesar de que el modelo fue desarrollado originalmente en cuencas grandes, se ha encontrado que puede aplicarse a cuencas pequeñas desde menos de 2.5 hasta 250 km² aproximadamente.

Para hallar el caudal máximo originado por la escorrentía directa, se utilizó el hidrograma unitario curvilíneo, cuyo pico está definido la siguiente ecuación:

$$q_p = 0.208 * \frac{A * Q}{T_p}$$

$$T_p = \frac{10}{9} * T_{lag}$$

$$T_{Lag} = 0.60 * T_c$$

Siendo:

q_p Caudal unitario máximo, en (m³/s) /mm de lluvia.

A Área de la cuenca considerada, en km².

Q Precipitación efectiva unitaria, en mm.

T_p Tiempo al pico del hidrograma, en horas, medido desde el comienzo.

T_{lag} Tiempo de retardo en horas, medido entre los centros de gravedad del hietograma de lluvia espacial e hidrograma unitario.

T_c Tiempo de concentración de la hoya hidrográfica, h.

L Longitud del cauce, en metros.

S Pendiente de la ladera de la cuenca

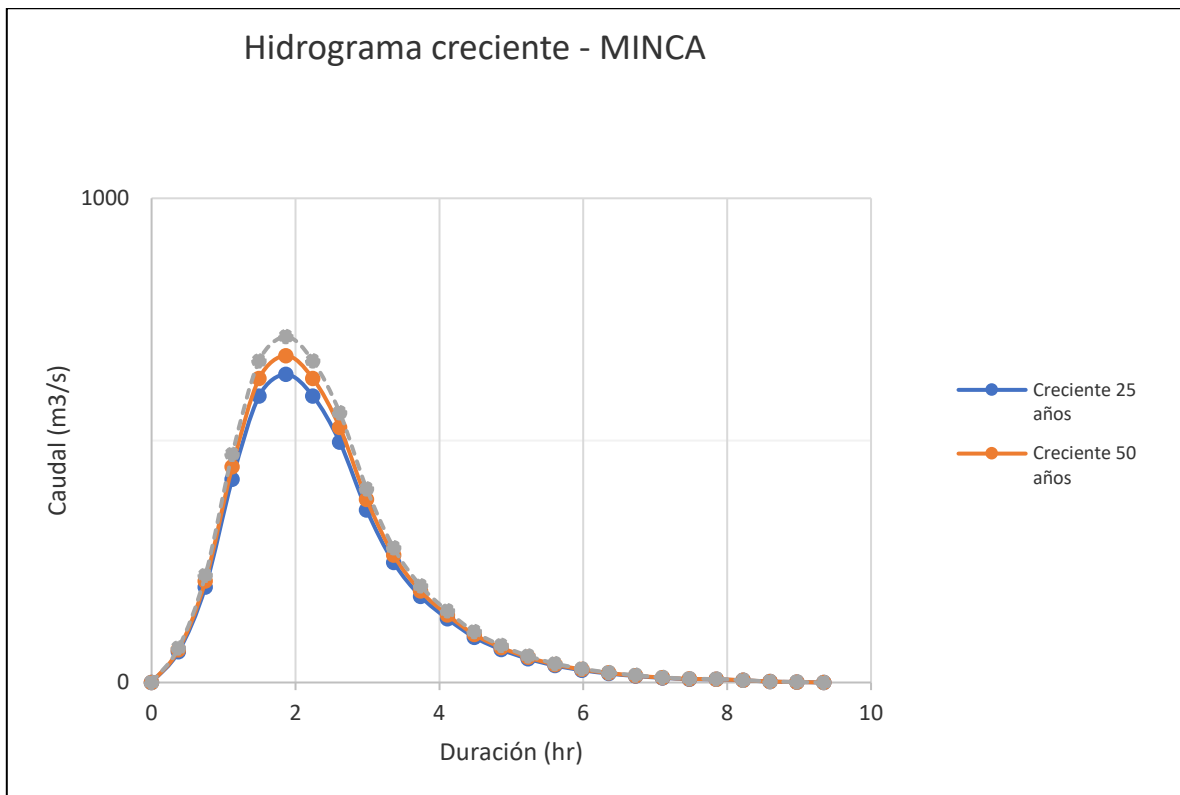


Ilustración 12. Hidrogramas sintéticos cuenca LA MINCA

7. ESTUDIO HIDRÁULICO

Los estudios hidráulicos en la zona de interés están orientados a la evaluación de las estructuras existentes y el diseño hidráulico definitivo de los drenajes, de las alcantarillas en tubería o cajón y de los elementos de drenaje complementarios necesarios para asegurar el tránsito vial durante los eventos hidrológicos de máxima intensidad y período de retorno.

Por lo tanto, en el presente capítulo se evalúa el estado de las obras proyectadas, por medio de la observación y recopilación de información de éstas en campo. La evaluación se realiza con base en criterios de diseño que se expondrán en los capítulos siguientes y que son específicos para cada tipo de estructura.

Es de notar que, se realiza el diseño de aquellas obras cuyo funcionamiento no cumple los requisitos establecidos, y de obras adicionales que se consideran necesarias para garantizar el drenaje adecuado de la vía objeto de la concesión, entre las cuales se encuentran las estructuras de disipación, alcantarillas y obras complementarias.

Finalmente, se presenta en cada uno de los subcapítulos un resumen de las obras diseñadas por cada tipo de estructura.

7.1. DISEÑO DE OBRAS MENORES

Las obras menores comprenden las estructuras correspondientes a alcantarillas, canales y estructuras de disipación, las cuales hacen parte del sistema de drenaje superficial correspondiente a la vía en estudio.

7.1.1. Alcantarillas

Las Obras de Drenaje Transversal son las obras de desagüe que se disponen para que la infraestructura proyectada no obstaculice los cauces de agua existentes, así como el fluir del agua por vaguadas, al interponerse y crear puntos bajos en las mismas sin salida. Para el diseño de estas obras se han considerado por separado sus elementos: entrada, colector o desagüe y salida.

Las conducciones se han tratado de diseñar de forma que tengan una única alineación tanto en planta como en alzado para mejorar las características del funcionamiento hidráulico evitando giros y cambios de pendiente que pudieran originar variaciones bruscas del régimen hidráulico en el interior originando daños por depresiones y sobrepresiones, sedimentaciones o erosiones localizadas, etc.

7.1.2. Criterios de diseño (alcantarillas)

Las obras de drenaje transversal se han diseñado para diferentes periodos de retorno conforme a los periodos de retorno estipulados en el manual de drenaje para carreteras del INVÍAS como se puede apreciar en la Tabla 111.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Drenaje subsuperficial	2
Cunetas	5
Zanjas de Coronacion	10
Estructuras de Caida	10
Alcantarillas de 0,90 m de diametro	10
Alcantarillas mayores a 0,90 m de diametro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	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

Tabla 16. Periodos de retorno para estructuras de drenaje vial

Fuente: INVÍAS

Siguiendo las indicaciones del Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS, el diseño de las alcantarillas se debe realizar teniendo en cuenta los criterios de capacidad hidráulica, velocidades máximas permisibles, pendiente mínima y máxima permisibles y arrastre de sedimentos.

Se determinó así un número de criterios de verificación geométricos e hidráulicos. Estas verificaciones hicieron las veces de filtros para determinar cuáles son las alcantarillas que deben diseñarse y cuales pueden mantenerse debido a su condición física, geométrica e hidráulica. Los criterios empleados fueron

7.2. ALCANTARILLAS

7.2.1. Criterios de Henderson y Chow

Para determinar los caudales que pueden ser evacuados por las alcantarillas de cajón de diferentes dimensiones y por alcantarillas circulares de 0.90 m de diámetro, se siguieron los criterios definidos por Henderson (Capítulo 6, "Open Channel Flow", F.M. Henderson, 1970) y Chow (Capítulo 17, "Open Channel Hydraulics, International Student Edition", Ven Te Chow, 1973-1985. Edit Mc Graw Hill.)

Se hace énfasis en que en estos criterios se aplicaron asegurando siempre control a la entrada de la estructura, lo que equivale a flujo libre dentro de la misma. Estos criterios se desarrollan a continuación:

7.2.2. Henderson

Según Henderson, el caudal que pasa a través de una alcantarilla de cajón puede ser calculado como:

$$Q = \frac{2}{3} C_B b H \sqrt{\frac{2}{3} g H}$$

Donde

Q = caudal en m³/s

CB = coeficiente que expresa el efecto de contracción del flujo, igual a 0.9 para entrada con bordes a escuadra.

b = ancho de la alcantarilla de cajón en m

H = altura de la lámina de agua en la periferia de la entrada de la alcantarilla, medida desde el piso del mismo (m)

g = 9.81 m/s² Siempre y cuando

H / d < 1.2

Siendo d = altura de la alcantarilla de cajón en m

7.2.3. Chow

En el texto "Open Channel Hydraulics, International Edition" (Capítulo 17), Ven Te Chow incluye dos gráficas (figs. 17-29 y 17-30), a través de las cuales puede estimarse el caudal evacuado por alcantarillas circulares o de cajón de diferentes dimensiones. (Vente Chow, 1959)

Se comprobó la consistencia de estas graficas con los datos obtenido de la ecuación de Henderson.

Dados los criterios de Henderson y de Chow, se elaboró la siguiente tabla para la elección de una obra de drenaje según el caudal que se necesite evacuar:

CAPACIDAD DE OBRAS VARIAS		
De	Hasta	
m3		Obra mínima
0	1	Tubo D=90 (36")
1	5,6	Box: 2.0*1.5
5,6	10,7	Box: 2.5*2.0
10,7	12,8	Box: 3.0*2.0
12,8	20,9	Box: 3.5*2.5
20,9	31,4	Box: 4.0*3.0
31,4	408.4	PONTON
408.4	>408.4	PUENTE

Tabla 17. Capacidad de Obras de Drenaje

La pendiente hidráulica de las alcantarillas se debe encontrar, en lo posible, entre 0.5% y 5% pudiendo alcanzar valores tales que no produzcan velocidades superiores a la admisible de acuerdo al material del conducto o que comprometan la estabilidad de la obra, La pendiente usual en alcantarillas es 2%, y ésta es la que se recomienda en el presente informe para las alcantarillas propuestas.

Las obras propuestas finalmente en los tramos viales analizados se presentan en los Anexos "*DISEÑO DE ALCANTARILLAS- TRAMO 1,2,3,4*",

La determinación de los tiempos de concentración para el diseño de las alcantarillas se tomará la recomendación emitida por el INVIAS en el Manual de Drenaje para Carreteras que indica que, si los tiempos de concentración promedio de las metodologías presentadas son inferiores a 15 min, se elige como tiempo de concentración de diseño 15 minutos, de lo contrario se elige el valor dado.

7.3. Valores de Escorrentía para Diseño de alcantarilla

Para la determinación del coeficiente c de escorrentía se tomó de la tabla propuesta en el RAS 2017, $c=0.2$.

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA O IMPERMEABILIDAD (RAS 2017)			
Descripción	min	max	C
Cubiertas	0.75	0.95	0.85
Pavimento asfáltico y superficie de concreto	0.70	0.95	0.83
Vías adoquinadas	0.70	0.85	0.78
Zona Comercial o Industrial	0.60	0.95	0.78
Residencial con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75	0.75	0.75
Residencial multifamiliar con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0.60	0.75	0.68
Residencial unifamiliar con casas contiguas, predominio de jardines	0.40	0.60	0.50
Residencial con casas rodeadas de jardines o multifamiliar apreciablemente separados	0.45	0.45	0.45
Residencial con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0.30	0.30	0.30
Laderas desprotegidas de vegetación	0.60	0.60	0.60
Laderas protegidas de vegetación	0.30	0.30	0.30
Parques recreacionales	0.20	0.35	0.28

Tabla 18. Valores de coeficientes de permeabilidad para distintos usos.

7.3.1. Diámetro mínimo

Conforme a la norma actual propuesta por el INVÍAS, se establece 0.90 m como diámetro mínimo para conductos circulares (Manual de Drenaje para Carreteras, numeral 4.4.5.2) con el fin de facilitar las actividades de mantenimiento a realizar sobre este tipo de estructuras.

7.3.2. Verificación de capacidad hidráulica (H_w)

H_w de su sigla en inglés Head-Water, representa la altura aguas arriba de la alcantarilla. Para garantizar el buen funcionamiento hidráulico de la estructura el INVÍAS establece que la magnitud de H_w debe ser menor a 1.2 veces la altura o diámetro de la alcantarilla para el caudal de diseño correspondiente, y que la lámina de agua no supere la cota rasante de la vía.

$$\frac{H_w}{D} \leq 1.2$$

Debido a que una alcantarilla presenta distintos patrones de comportamiento (tipo orificio, tipo vertedero, alcantarilla a presión o flujo gradualmente variado) dependiendo de variables como el régimen de flujo y la condición de sumergencia; se realizó el cálculo utilizando la metodología propuesta por el documento HDS-5 (Hydraulic Design Series Number 5: Hydraulic Design of Highway Culverts – Third Edition); se escogió esa metodología debido a que es la empleada por el software de cálculo de alcantarillas HY-8, la cual es una de las plataformas recomendadas por el Manual de Drenaje para Carreteras para el diseño de estructuras de cruce.

7.3.3. Arrastre de sedimentos

las alcantarillas que presenten caudales bajos en determinadas épocas del año, complementadas con una baja pendiente del conducto son susceptibles a presentar sedimentación en su lecho. Para evitar la sedimentación en la estructura se incluyó el criterio de fuerza tractiva, el cual consiste en asegurar un esfuerzo cortante mayor a 0.3 kg/m^2 el cual asegura el arrastre de sedimentos impidiendo su sedimentación y acumulación.

7.3.4. Velocidad máxima

Las alcantarillas que presentan grandes concentraciones de caudal con respecto al drenaje natural presentan, por lo general, velocidades altas a través del conducto y descole del mismo, por esta razón se calculan las velocidades para evitar que éstas presenten desgaste (erosión) en la batea del conducto y/o del descole.

De acuerdo al material de construcción de la estructura se tienen unas velocidades máximas para evitar su desgaste y socavación. El Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS propone unas velocidades máximas para distintos materiales (ver Tabla 14) de acuerdo a este criterio la velocidad máxima para el concreto de 210 kg/cm^2 es de 10 m/s .

Material	Velocidad máxima (m/s)
Ladrillo común	3.0
Ladrillo vitrificado	5.0
Concreto de 175 kg/cm^2	6.0
Concreto de 210 kg/cm^2	10.0
Concreto de 280 kg/cm^2	15.0
Concreto de 350 kg/cm^2	20.0

Tabla 19. Velocidades máximas permitidas

Fuente: INVÍAS

7.3.5. Tipos de flujo en alcantarillas

El comportamiento del flujo en alcantarillas de cruce cuenta con un comportamiento hidráulico complicado, ya que el flujo está controlado por muchas variables como los son: la geometría, la pendiente, rugosidad (material), condiciones a la llegada y a la salida etc., específicamente control a la entrada y control a la salida. Por lo tanto, describir el comportamiento hidrodinámico de una alcantarilla solo se puede realizar mediante investigaciones de laboratorio o de campo.

7.3.6. Control a la entrada

En las alcantarillas con control a la entrada, las láminas de agua suelen ser poco profundas y se tienen velocidades altas. Además, en este tipo de flujo los factores que influyen en el cálculo son únicamente el área de la sección de entrada, la pendiente del conducto, la configuración y forma de la entrada. De esta manera, la altura aguas abajo del conducto no tiene influencia en los cálculos.

Los flujos en alcantarillas con control a la entrada presentan entrada sumergida y no sumergida como se puede ver en los archivos anexos. donde el desarrollo hidrodinámico que el mismo tenga a través del ducto genera diferentes tipos de comportamiento, los cuales se describen a continuación:

Tipo 1 A: La entrada al ducto es de forma no sumergida, por lo tanto, no genera contracción, sin embargo, la lámina de agua es levemente mayor a la altura del ducto, una vez ingresa el flujo por la alcantarilla se desarrolla un tipo de flujo supercrítico o subcrítico, y se descarga de forma no sumergida.

Tipo 1 C: La entrada del flujo al ducto es de forma no sumergida, por lo tanto, no genera contracción, sin embargo, la misma es levemente mayor a la altura del ducto, una vez ingresa el flujo por la alcantarilla se desarrolla un tipo de flujo supercrítico y se realiza un cambio de régimen al interior del mismo generando un resalto hidráulico haciendo que la salida sea de forma sumergida.

Tipo 5 B: La entrada al ducto es de forma sumergida, por lo cual se genera una contracción a la entrada del ducto, ya que la carga hidráulica es mayor a la altura del mismo, desarrollando un flujo que llena parcialmente la sección hidráulica y descarga de forma no sumergida, el régimen del flujo al interior de la alcantarilla es supercrítico.

Tipo 5 D: La entrada al ducto es de forma sumergida, por lo cual se genera una contracción a la entrada del ducto, ya que la carga hidráulica es mayor a la altura del mismo, desarrollando un flujo que llena parcialmente la sección hidráulica, es de notar, que en este comportamiento se genera un cambio de régimen al interior del ducto pasando de supercrítico a subcrítico, lo cual desarrolla un resalto hidráulico al interior del mismo haciendo que la salida sea sumergida.

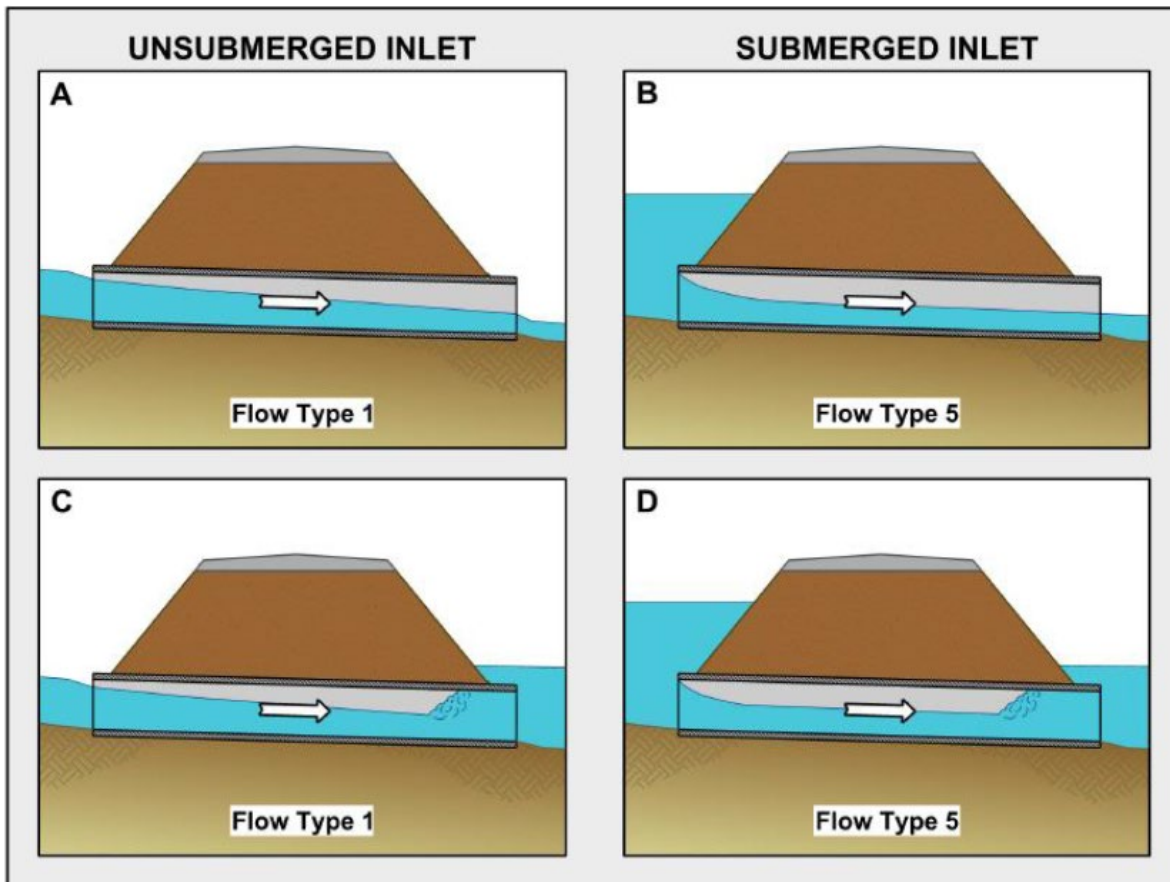


Ilustración 15. Tipo de flujo con control a la entrada

7.3.7. Cálculo de alcantarillas flujo gradualmente variado

Para verificar la capacidad hidráulica de las alcantarillas circulares, de cajón y pontones, se empleó el programa HY8- (Culvert Hydraulic Analysis Program), el cual fue desarrollado por la Federal Highway Administration y con bastante aceptación en la Consultoría de los Estados Unidos y recomendado por el Manual de Drenaje del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) para el diseño de alcantarillas de cruce. La ecuación de flujo gradualmente variado es:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - F_r^2}$$

Donde:

dy	Variación de la superficie libre del agua (m)
dx	Diferencial longitudinal de la estructura hidráulica (m)
S_o	Pendiente longitudinal del fondo de la estructural (m/m)
S_f	Pendiente de la línea de energía (m/m)

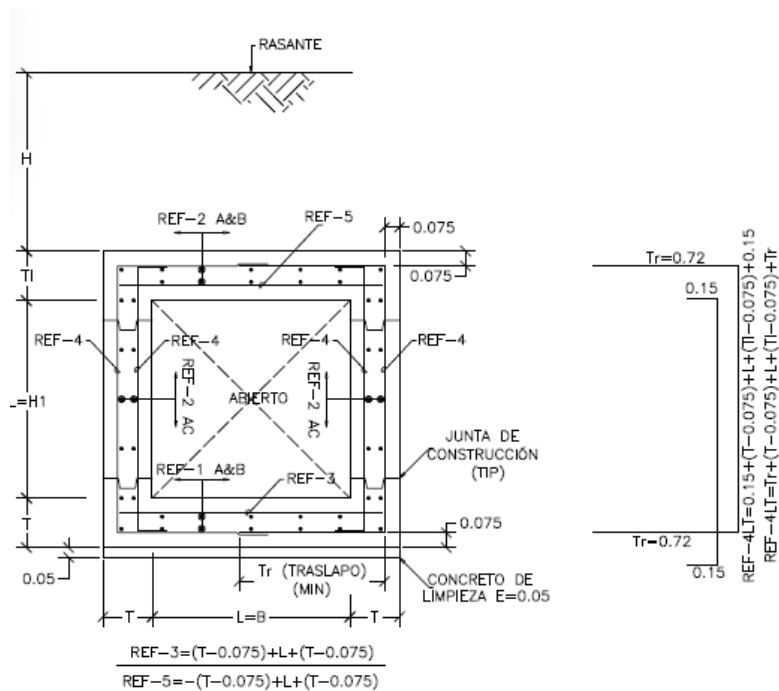
El programa HY8 soluciona de forma numérica la ecuación de flujo gradualmente variado permitiendo evaluar el tipo de flujo que se desarrolla al interior de la alcantarilla conforme a sus condiciones como pendiente, geometría, material etc. El programa HY8 que es ampliamente usado en consultoría de drenajes viales, avalado por el Manual de Drenaje para Carreteras y el cual resuelve la ecuación de Flujo Gradualmente Variado (FGV).

7.3.8. Resultados obtenidos

A partir de los cálculos realizados se obtuvieron tiempos de concentración que no superaron los 25 min, se tomó un coeficiente de escorrentía de 0.2 de la 8 tomada de la tabla propuesta en el RAS 2017.

Para terminar, se estable que los diseños recomendados son box culvert de 1.5m x1.5 m

Las obras propuestas finalmente en los tramos viales analizados, se presentan en el Anexo "*DISEÑO DE box culvert-LA MINCA*"



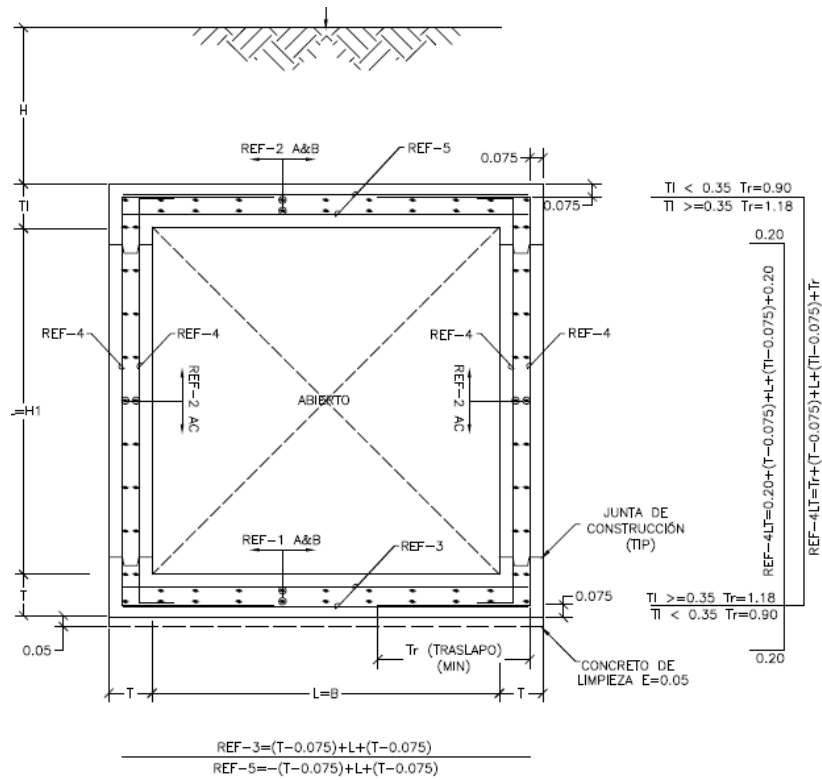
SECCIÓN TÍPICA A
ESCALA: 1:25

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

- CONCRETO $f_c = 21 \text{ MPa}$ (3000 PSI, Clase D)
- ACERO CORRUGADO $f_y = 420 \text{ MPa}$ (60000 PSI)
- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN METROS.

BOX COULVERT - H1=1.50 m x B=1.50 m										
ALTURA DEL RELLENO (H)	ESPESORES		REFUERZO					CANTIDADES DE OBRA		
	T	TI	REF - 1	REF - 2	REF - 3	REF - 4	REF - 5	CONCRETO m ³ /m	SOLADO m ³ /m	ACERO Kg/m
0.00 - 0.30	0.30	0.35	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.20	2.27	0.11	137.83
0.30 - 0.60	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
0.60 - 1.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
1.00 - 1.50	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
1.50 - 2.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
2.00 - 2.50	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
2.50 - 3.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
3.00 - 4.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
4.00 - 5.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1.75	0.10	127.76
5.00 - 6.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.20	1/2" @0.25	1.75	0.10	141.26
6.00 - 7.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.20	1/2" @0.25	1.75	0.10	141.26
7.00 - 8.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.20	1/2" @0.25	1.75	0.10	141.26

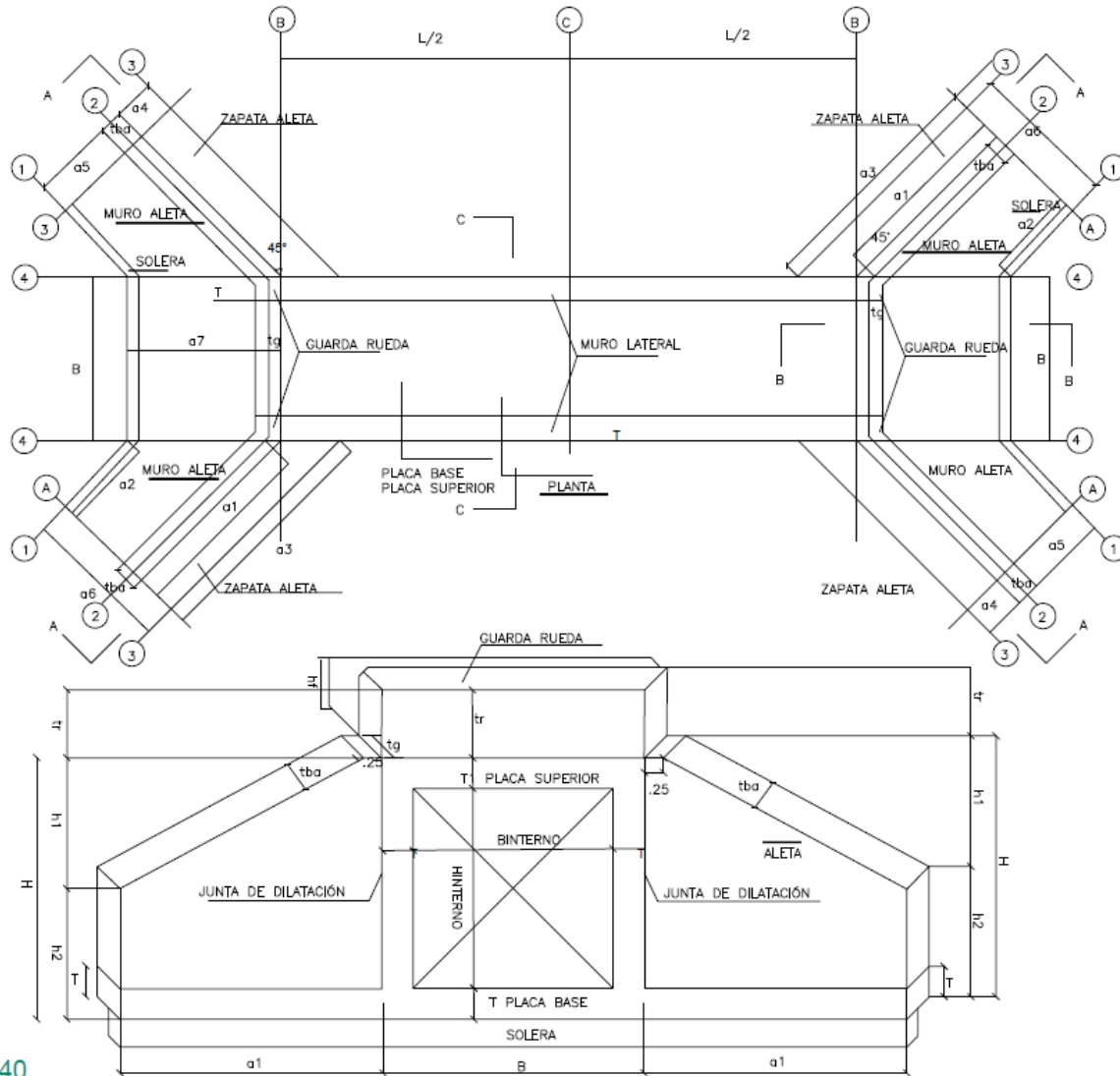
Ilustración 16. Box de dimensión 1.5 m x 1.5 m



SECCIÓN TÍPICA A
ESCALA: 1:25

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

- CONCRETO $f_c = 21 \text{ MPa}$ (3000 PSI, Clase D)
- ACERO CORRUGADO $f_y = 420 \text{ MPa}$ (60000 PSI)
- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN METROS.



40

El esquema del canal dimensionado se presenta en la tabla anterior

7.4. CUNETA

El diseño hidráulico de canales consiste en proponer una sección hidráulica y revisar que las propiedades hidráulicas cumplan con los criterios de profundidad normal, velocidad mínima y velocidad máxima. Dentro de este diseño, se analiza la sección que es capaz de llevar el caudal del canal sin que la lámina de agua rebose la estructura y además cumpla con el criterio de velocidad máxima y mínima. Los criterios mencionados serán explicados a continuación:

7.4.1. Profundidad normal

El principal criterio hidráulico que debe cumplir un canal es que la lámina de agua con la cual se transporta el caudal de diseño para un periodo de retorno específico no rebose la profundidad máxima de la sección. Es decir, que la profundidad normal del caudal transportado no sea mayor a la profundidad de la sección del canal. En caso de que esto ocurra, la capacidad del canal con la sección definida no es suficiente para transportar el caudal de diseño, siendo necesario pasar a una sección con mayor capacidad.

Para realizar el dimensionamiento del canal a la descarga de las alcantarillas localizadas en las abscisas correspondientes, se relacionan el caudal de diseño Q_r , el cual se obtiene a partir del método racional presentado en la sección. (Ver Anexos "DISEÑO CUNETAS TRAMOS 1,2,3,4" y posteriormente se compara con el caudal permisible por la sección hidráulica a emplear utilizando la ecuación de Manning a sección llena Q_m . Finalmente al relacionar Q_r con Q_m lo ideal es que dicha relación se encuentre por debajo de 0.90 para que la sección de la canal propuesta cuente con la capacidad hidráulica suficiente.

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal a tubo lleno en, m^3/s

n = Coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

A =Área de la sección hidráulica, m^2

R = Radio hidráulico, m

S = Pendiente longitudinal, m/m

7.4.2. Velocidad mínima

El criterio de velocidad mínima comprende que el flujo de agua tenga la suficiente velocidad para que partículas suspendidas que puedan existir en el flujo de agua no generen sedimentación en el canal y por consiguiente se genere obstrucción en éste. Para este criterio se tuvo en cuenta las recomendaciones del Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS, el cual recomienda tener un límite de velocidad mínima de 0.3 m/s para evitar la sedimentación.

7.4.3. Velocidad máxima

Así como se limita la velocidad a un mínimo permisible, también se debe tener un límite admisible en la velocidad del agua en la cuneta para evitar problemas de erosión en la superficie de la misma. Se da estricto seguimiento a las recomendaciones del Manual de Drenaje de Carreteras del INVÍAS, en la Tabla 20– Velocidades máximas permisibles en canales artificiales se establecen los siguientes límites.

Material	Velocidad máxima (m/s)
Ladrillo común	3.0
Ladrillo vitrificado	5.0
Arcilla vitrificada (gres)	4.0
Concreto de 175 kg/cm ²	6.0
Concreto de 210 kg/cm ²	10.0
Concreto de 280 kg/cm ²	15.0
Concreto de 350 kg/cm ²	20.0

Tabla 20. Velocidades máximas permitidas

Los canales que se dimensiona en los anexos “DISEÑO CUNETAS TRAMOS 1,2,3,4” cuentan con velocidades promedio de 0.57 m/s y 1.5 m/s respectivamente, las cuales requieren de concreto de 210 kg/cm²

7.4.4. Cuneta diseñada

Finalmente se recomienda la construcción de un canal en concreto, de sección triangular con ancho igual a 0.5 m, y altura igual a 0.2 m (TIPO 1-C) para ambos costados de la vía, tal cual como se presenta en los Anexos “DISEÑO CUNETAS” El esquema del canal dimensionado se presenta en los archivos anexos .

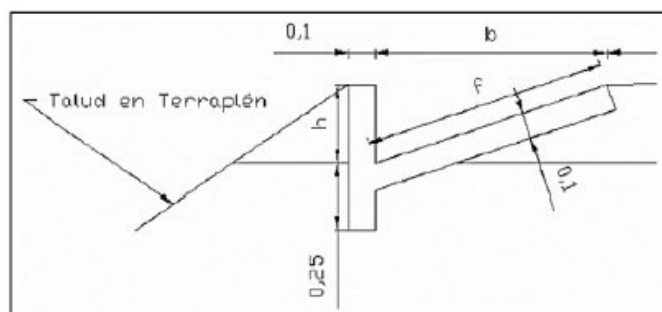


Ilustración 17. Canal de concreto diseñado

8. INVENTARIO OBRAS

A continuación, se resumen las estructuras a construir (box culvert de 1.5 x1.5 m)

INVENTARIO OBRAS EXISTENTES

ALC	TRAMO	ABSCISA	OBSERVACION	TIPO OBRA
1	1	K0+970	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
2	1	K1+310	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
3	3	K2+010	OBRA EXISTENTE EN MAL ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
4	4	K2+126	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
5	4	K2+270	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
6	5	K2+530	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
7	5	K3+005	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"

INVENTARIO DE OBRAS A CONSTRUIR

ALC	TRAMO	ABSCISA	OBSERVACION	TIPO OBRA
1	1	K0+190	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	BOX CULVERT 1,5 X1,5 M TIPO INVIAS
2	1	K0+530	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	BOX CULVERT 1,5 X1,5 M TIPO INVIAS
3	3	K2+020	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	BOX CULVERT 1,5 X1,5 M TIPO INVIAS

Tabla 21. Inventario de obras a construir Box culvert.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las subcuencas donde se llevará a cabo mejoramiento mediante la construcción de pavimento rígido de la vía que comunica bondigua -paso del mango en santa marta, magdalena, presenta una pendiente promedio de: 12.97 % en la subcuenca que contiene los tramos 1,2,3,4,5.
- En los planos e información enviados SI se evidenciaron estructuras existentes en el tramo a intervenir, se observan 5 estructuras existentes (alcantarilla tipo invias) de las cuales 4 se encuentran en buen estado y una se encuentra en mal estado en la abscisa k2+010, esta quedara inhabilitada, y en remplazo se construirá una nueva obra que supla su función 10 metros más adelante. Se aclara que esta alcantarilla en mal estado no será demolida ya que no es necesario y su demolición presentaría un gasto innecesario para el proyecto.

ALC	TRAMO	ABSCISA	OBSERVACION	TIPO OBRA
1	1	K0+970	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
2	1	K1+310	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
3	3	K2+010	OBRA EXISTENTE EN MAL ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
4	4	K2+126	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
5	4	K2+270	OBRA EXISTENTE EN BUEN ESTADO	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"

- Se proyecta la construcción de 3 box culvert (2 en el tramo 1 y 1 en el tramo 3) tipo INVIAS de dimensiones 1.5 x 1.5 m, en sitios evaluados en campo en sentido perpendicular al eje del tramo de vía en el mismo sentido del flujo, tal como se observa en los anexos correspondientes.
- El estudio hidráulico el hidrológico del sector nos arroja que las obras requeridas de acuerdo con la precipitación para esta vía son alcantarillas tipo invias de diámetro de 0.9 m, ahora hay que aclarar que los 3 box culvert de dimensiones 1.5 x 1.5 m propuestos se proponen para suplir la demanda de flujo de agua en época invernal teniendo en cuenta que se colocaron bastante distanciados uno del otro, pasan por la perpendicular del tramo en las abscisas propuestas.

Ahora, a pesar de que el estudio hidráulico nos indica alcantarillas circulares tipo invias, se ha decidido optar por la disposición de box culvert de dimensiones de 1.5 x1.5m, ya que las condiciones del terreno así lo requieren. Hay que aclarar que el tramo presenta una pendiente muy pequeña entre el (1% y 2%) y es prácticamente terreno plano en toda su longitudinal, por lo que es muy susceptible a inundarse si no se instalan estas estructuras de drenaje, instalar alcantarillas circulares es riesgoso en este tramo.

- Se debe garantizar el correcto funcionamiento de las obras de arte, para esto se debe realizar su debido mantenimiento, el cual incluye la limpieza de moho y capa vegetal cada 6 a 8 meses, evitando la erosión del concreto
- Se deben cumplir con las especificaciones técnicas de características y colocación de los materiales según lo establece el Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- Se debe cumplir las especificaciones de las cunetas para correcto funcionamiento de las mismas, y que no haya desborde de las mismas.
- La cuneta diseñada para el tramo es TIPO C, revisar documento de diseño de cuneta.



JOSÉ ANDRÉS MARTÍNEZ DORADO

INGENIERO CIVIL ESPECIALISTA

M.P. 19202-81425 CAUCA DEL COPNIA

10. BIBLIOGRAFÍA

- IDEAM. Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Obtenido de IDEAM: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf> 2. INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. Bogotá D.C., Colombia 3. Ministerio de desarrollo económico.
- Ras 2017. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá D.C., Colombia.
- Díaz, J. A. P. ESTUDIOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA PARA OBRAS DE DRENAJE VIAL.
- Hortua Cortés, N. G. Geomorfología e hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá). Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía.
- HERRERA, N. Y. Á., LÓPEZ, J. D. C., & LEAL, D. H. G. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS RACIONAL E HIDROGRAMA UNITARIO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES EN SECTORES HIDROLÓGICOS RURALES EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.

11. ANEXOS

ANEXOS



