

**CONSTRUCCIÓN EN PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA VÍA QUE COMUNICA
LA VEREDA LA VENGANZA CON LA MARGINAL DE LA SELVA, EN EL
MUNICIPIO DE TAURAMENA DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

INFORME HIDROLÓGICO E HIDRAULICA

MUNICIPIO DE TAURAMENA, CASANARE

FEBRERO 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	6
4.1. CLIMA Y PRECIPITACIÓN	8
5. CUENCAS HIDROGRÁFICAS	11
5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CUENCAS.....	11
5.1.1. Geometría y cotas cuenca	14
5.1.2. Análisis del patrón de drenaje.....	15
5.2. SISTEMA DE DRENAJE	17
5.2.1. Densidad de drenaje	17
5.2.2. Orden de las corrientes (Strahler)	17
5.3. Tiempos de Concentración, Tc	18
5.3.1. Fórmula de Kirpich.....	18
5.3.2. Ecuación de Témez.....	18
5.3.3. Ecuación de Giandotti	19
5.3.4. Ecuación de V.T. Chow	19
5.3.5. Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos....	19
5.3.6. Ecuación de SCS – Ranser	19
6. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	21
6.1. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS.....	21
6.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS.....	23

6.3. DISTRIBUCIÓN GUMBEL.....	24
6.3.1. Análisis de frecuencias hidrológicas.....	25
6.3.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)	25
6.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	28
6.4.1. Tamaño de cuencas.....	28
6.5. DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS	29
6.5.1. Método de las abstracciones del Soil Conservation Service	29
7. ESTUDIO HIDRÁULICO	33
7.1. DISEÑO DE OBRAS MENORES.....	34
7.1.1. Alcantarillas.....	34
7.1.2. Criterios de diseño (alcantarillas)	34
7.2. ALCANTARILLAS.....	35
7.2.1. Criterios de Henderson y Chow.....	35
7.2.2. Henderson	35
7.2.3. Chow	36
7.3. Valores de Escorrentía para Diseño de Alcantarilla	37
7.3.1. Diámetro mínimo	37
7.3.2. Verificación de capacidad hidráulica (H_w).....	37
7.3.3. Arrastre de sedimentos	38
7.3.4. Velocidad máxima.....	38
7.3.5. Tipos de flujo en alcantarillas	39
7.3.6. Control a la entrada	39
7.3.7. Cálculo de alcantarillas flujo gradualmente variado	41
7.3.8. Resultados obtenidos	41
7.4. CUNETA	42
7.4.1. Profundidad normal	42
7.4.2. Velocidad mínima	43
7.4.3. Velocidad máxima.....	43
7.4.4. Cuneta diseñada.....	44
8. INVENTARIO OBRAS	44
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
10. ANEXOS	46

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 TAURAMENA, dicha información es específicamente las curvas IDF.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones climáticas e hidrológicas para el proyecto **CONSTRUCCIÓN EN PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA VÍA QUE COMUNICA LA VEREDA LA VENGANZA CON LA MARGINAL DE LA SELVA, EN EL MUNICIPIO DE TAURAMENA DEPARTAMENTO DEL CASANARE**, 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 CONSTRUCCIÓN EN PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA VÍA QUE COMUNICA LA VEREDA LA VENGANZA CON LA MARGINAL DE LA SELVA, EN EL MUNICIPIO DE TAURAMENA DEPARTAMENTO DEL CASANARE, pretende mejorar en total 2,1 kilómetros de la vía (distribuidos en 1 tramo) 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			
VIA	LONGITUD	COORDENADAS INICIO	COORDENADAS FIN
	2100 M	N = 4°58'24.40" E = 72°40'57.60"	N = 4°58'14.70" E = 72°39'52.60"
		ABSCISA INICIO K0+000	ABSCISA FINAL K2+100



Ilustración 1. Ubicación tramos a intervenir

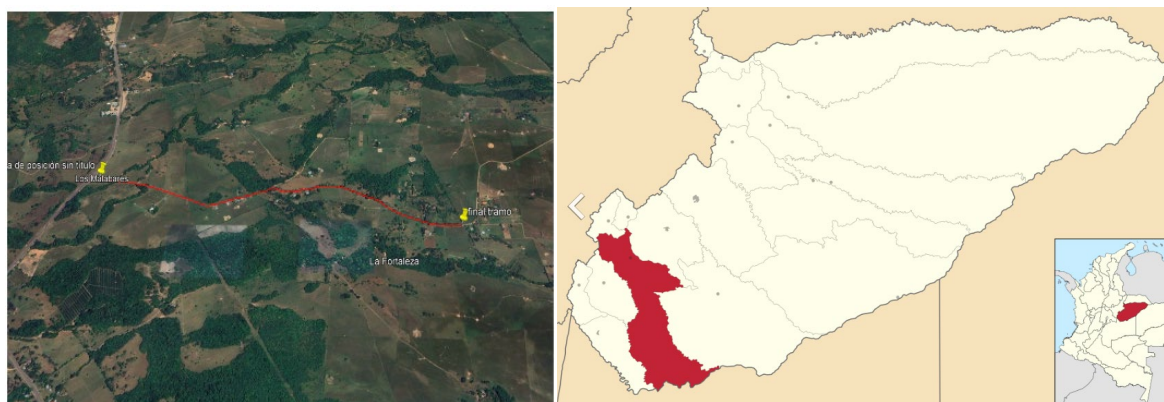


Ilustración 2. Ubicación geográfica vía en estudio – Tramo 1

4. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

Es un municipio colombiano en la zona sur occidental del departamento de Casanare

El municipio de Tauramena se localiza sobre una meseta alargada en la zona suroccidental del Departamento de Casanare; tiene una extensión aproximada de 2607.2 km² equivalentes al 5.8 % del total del departamento, cuya extensión es de 44640 km².

Ambas entidades territoriales se ubican en la región natural conocida como Orinoquia colombiana que tiene una extensión de 254.445 km², equivalentes al 22.3% de la superficie nacional. Su cabecera municipal se localiza a los 5.01'07" de latitud norte y 72.45'19" de longitud Oeste

Distancia de referencia: 270 km de Bogotá.

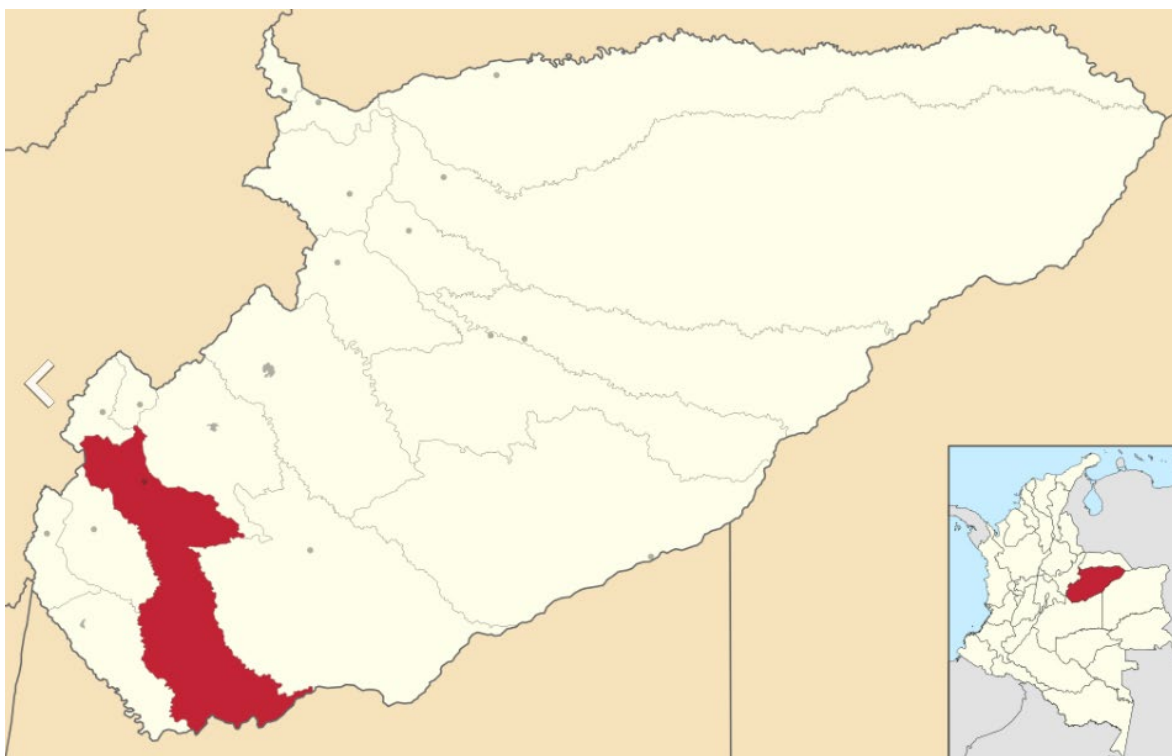
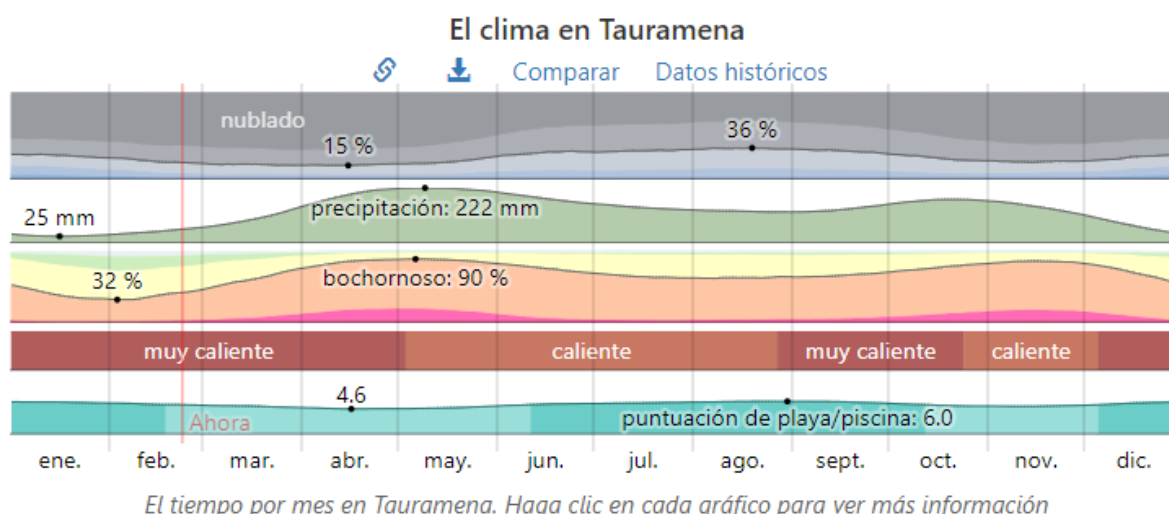


Ilustración 4. Localización del municipio de TAURAMENA, CASANARE

4.1. CLIMA Y PRECIPITACIÓN

En Tauramena, los veranos son cortos, cálidos, húmedos y nublados y los inviernos son cortos, calurosos, bochornosos, mojados y mayormente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21°C a 33°C y rara vez baja a menos de 20°C o sube a más de 36°C .

En base a la puntuación de playa/piscina, las mejores épocas del año para visitar Tauramena para las actividades de calor son desde *mediados de junio* hasta *mediados de octubre* y desde *principios de diciembre* hasta *mediados de febrero*.



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 Tauramena varía muy considerablemente durante el año.

La *temporada más mojada* dura *8,6 meses*, de *18 de marzo* a *4 de diciembre*, con una probabilidad de más del *41 %* de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Tauramena es *mayo*, con un promedio de *21,4 días* con por lo menos *1 milímetro* de precipitación.

La *temporada más seca* dura *3,4 meses*, del *4 de diciembre* al *18 de marzo*. El mes con menos días mojados en Tauramena es *enero*, con un promedio de *4,5 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 Tauramena es *mayo*, con un promedio de *21,4 días*. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es *solo lluvia*, con una probabilidad máxima del *70 %* el *18 de mayo*.

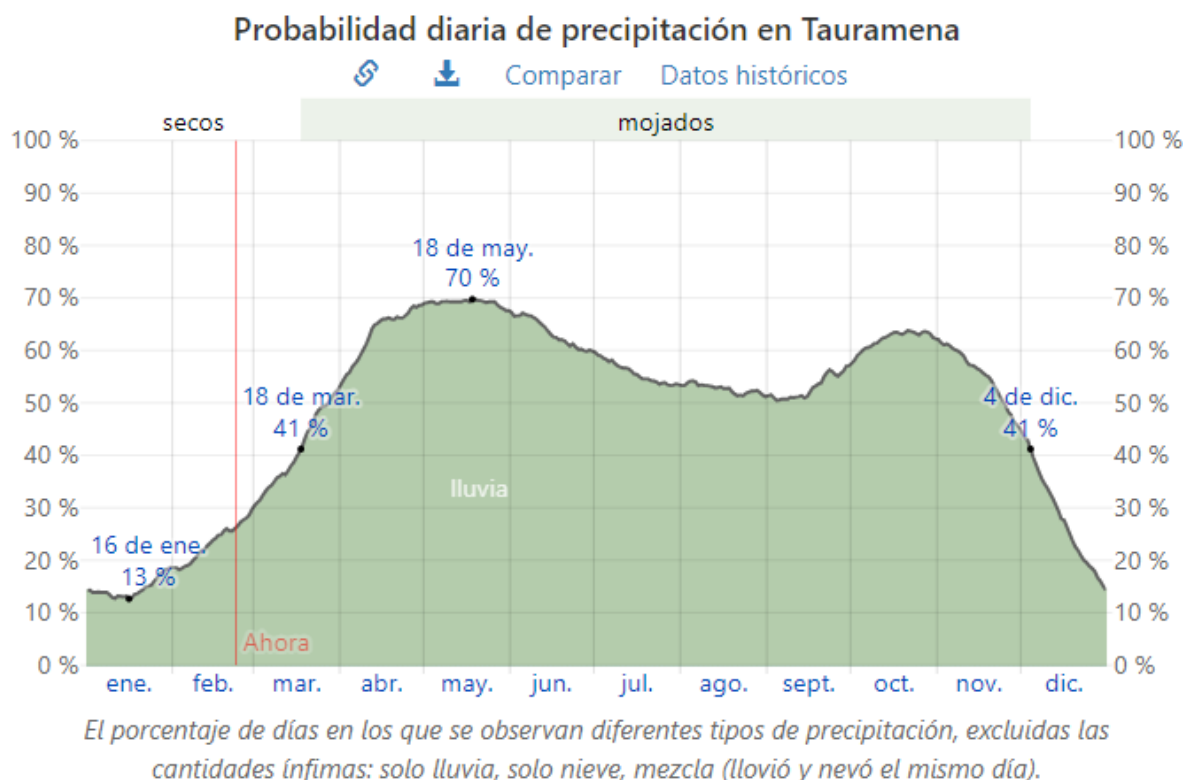
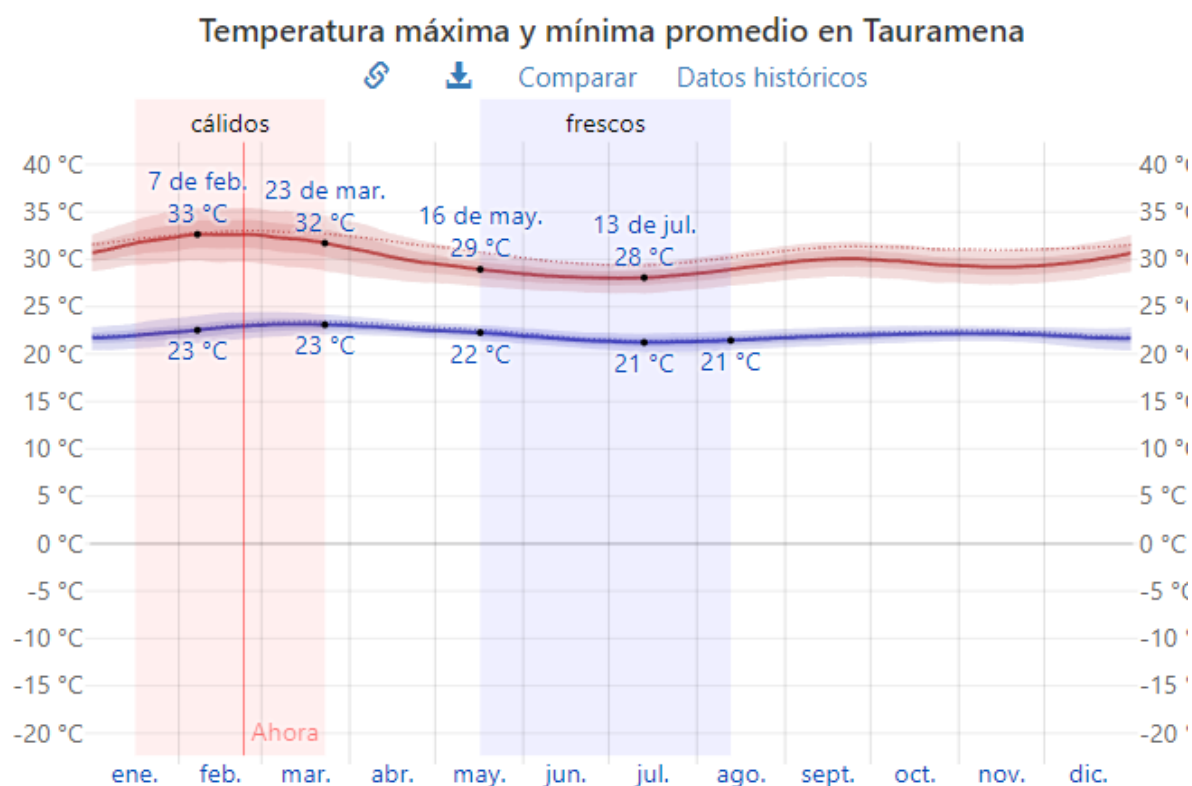


Ilustración 5. Precipitación probabilidad

Temperatura promedio

La *temporada calurosa* dura *2,2 meses*, del *16 de enero* al *23 de marzo*, y la temperatura máxima promedio diaria es más de *32 °C*. El mes más cálido del año en Tauramena es *febrero*, con una temperatura máxima promedio de *33 °C* y mínima de *23 °C*.

La *temporada fresca* dura *2,9 meses*, del *16 de mayo* al *12 de agosto*, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de *29 °C*. El mes más frío del año en Tauramena es *julio*, con una temperatura mínima promedio de *21 °C* y máxima de *28 °C*.



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	32 °C	33 °C	32 °C	30 °C	29 °C	28 °C	28 °C	29 °C	30 °C	30 °C	29 °C	30 °C
Temp.	26 °C	27 °C	27 °C	26 °C	25 °C	24 °C	24 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Mínima	22 °C	23 °C	23 °C	23 °C	22 °C	22 °C	21 °C	21 °C	22 °C	22 °C	22 °C	22 °C

Ilustración 6. Mapa de temperatura anual

5. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CUENCAS

La riqueza **hidrográfica** es una de las principales potencialidades del Departamento de Casanare; abundantes ríos, caños, lagunas y humedales (esteros) forman una intrincada **red hídrica** que provee a los llaneros de excelente biodiversidad de flora y fauna y les sirve como vía de comunicación y transporte durante la temporada de lluvias

El río Meta es el principal eje hidrográfico y a él confluyen por su margen izquierda todas las aguas que drenan del territorio casanareño, a través de importantes arterias fluviales tales como los ríos: Casanare, Ariporo, Guachiría, Guanapalo, Pauto, Tocaría, Cravo Sur, Cusiana, Túa y Upía.

Cuenca hidrográfica Río Casanare

El río Casanare nace en el departamento de Boyacá, es navegable en el sector de sabana y se utiliza como vía de comunicación de la población del Municipio de Hato Corozal. Las vegas del mismo vienen desarrollando la siembra de arroz en el sector de piedemonte. Esta cuenta ocupa un área total de 794.417 Hectáreas; recibe el agua de las subcuencas Área drenaje río Casanare y Río Ariporo (Conformado por los Ríos Ariporo, Chire y Muese).

Río Ariporo: Nace en los límites de Sácama y Tamara, se utiliza como medio de comunicación en época invierno por la población de Hato Corozal y Paz de Ariporo ubicada al este y en el área de sabana.

Río Chire: Nace en el cerro de samaricote y su caudal se reduce drásticamente en época de verano.

Río Muese: Nace en el cerro de samaricote y sus aguas recorre la zona de piedemonte del Municipio de Paz de Ariporo, su caudal disminuye considerablemente en época de verano.

Cuenca del Río Guachiria

Nace en el cerro de samaricote baña los municipios de paz de Ariporo, Pore y Trinidad y su caudal tiene un alto nivel de disminución en época de verano. Esta cuenta ocupa un área total de 350.507 Hectáreas.

Cuenca del Río Pauto

Nace en el departamento de Boyacá y el 87% se encuentra en Casanare, en su parte media posee varios canales, cuya agua se usa principalmente para riego de cultivos de arroz, generando contaminación aguas abajo y pérdida de caudal. Tiene POMCA formulado. Es navegable desde San Luis de Palenque. Esta cuenta ocupa un área total de 285.730 Hectáreas.

Cuenca del Rio Cravo Sur

Nace en el departamento de Boyacá, la mayor área de la cuenca está localizada en los Municipios de Yopal y Orocué. En la parte media se desprenden Canales para riego de cultivos de arroz y demás actividades agropecuarias y turísticas, generando perdida de caudal y contaminación aguas abajo. Tiene POMCA formulado. Es navegable desde el centro poblado del Algarrobo hasta la desembocadura con el Río Meta. Esta cuenta ocupa un área total de 285.730 Hectáreas; ; recibe el agua de las subcuencas Área drenaje rio Cravo Sur y Río Tocaria.

Río Tocaria: Nace en el departamento de Boyacá, El mayor recorrido se da en los Municipios de Nunchía y San Luis de palenque; en su parte media se tienen canales de riego para cultivos de arroz y demás actividades agropecuarias generando perdida de caudal y contaminación aguas abajo.

Cuenca del Rio Cusiana

Nace en Boyacá, el 60% de su recorrido se presenta en los Municipios de Recetor, Chámeza, Tauramena, Maní y Aguazul. Es navegable desde Maní y cuenta con canales para riego de cultivos de arroz y demás actividades agropecuarias presenta perdida de caudales aguas abajo. En su parte media se encuentran los yacimientos de petróleo y gas de Cusiana. Esta cuenta ocupa un área total de 471.427 Hectáreas; recibe el agua de las subcuencas Área drenaje rio Cusiana, Río Charte, Río Unete y Río Chitamena.

Río Charte: Nace en el departamento de Boyacá, en su parte media se tienen canales y áreas dedicadas a cultivos comerciales de uso intensivo, presenta perdida de caudal aguas abajo y contaminación. Igualmente en su parte media están los yacimientos de Gas y Petróleo de Volcaneras.

Río Unete: Nace en el departamento de Boyacá, en su parte media se tienen canales y áreas dedicadas a cultivos comerciales de arroz principalmente. En su parte media se encuentra los Yacimientos de Cupiagua.

Río Chitamena: Nace en los Municipios de Chámeza y Recetor y en su parte media se tiene canales para cultivo de arroz y en época de verano existe trayectos que desaparecen. Igualmente, cuenta con Yacimientos de petróleo en explotación en su parte media.

Cuenca del Rio Túa

Fuente: IIGAC – Oficina de Planeación Municipal – Consultores IIAP



Figura: sub cuenca del proyecto, punto verde: estación seleccionada, línea roja: vía a construir, línea azul: río principal de la sub cuenca, línea azul claro: corrientes secundarias de la cuenca. Fuente: 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 dos partes, para así, determinar los valores de diseño representativos en cada zona (ver ilustración 1 y 2).

- Tramo 1

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 Figura1.

ID	CUENCA	A (Ha)	P (m)	Lc (m)	L (m)	B (m)	COTA ALTA m.s.n.m	COTA BAJA m.s.n.m	S %
1	LA PRADERA	189876,44	286221,34	173235,654	3655122,3	10960,586	79,700	0,000	5,2%

Tabla 1. Área y perímetros de las cuencas del proyecto

El área de las sub-cuencas 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 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 Directos 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 a intervenir presentan un factor de forma de 0.06, 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 presenta un drenaje regular, dado que su densidad drenaje es de 1.93 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).

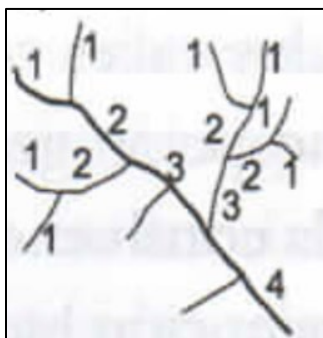


Ilustración 8. Orden de corrientes Rzhanitsin (Strahler)

La clasificación de Strahler fue propuesta en 1964, en la cual se acepta un aumento del orden de las corrientes a medida que va aumentando el número de afluentes (Ochoa Rubio, 2011), donde una corriente de primer orden es un pequeño canal que no tiene tributarios, una corrientes de segundo orden se forma cuando dos corrientes de orden uno se unen, por consiguiente una corriente de orden tres es la unión de dos corrientes de orden dos y así sucesivamente hasta la formación de una corriente de orden n.

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)
655,446	5158,099	1584,88	1140,010	4055,700	1479,218	1783

Tabla 2. Tiempo de Retención Subcuenca en el tramo 1

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 PRADERA, se determinaron las abstracciones determinando el número de curva de la cuenca hidrográfica LA PRADERA 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
35180010	PM	LA PRADERA	TAURAMENA	180	72°39'57.2"W	4°56'14.5" N

Tabla 4. Estaciones hidrometeorológicas

Fuente: Propia

Se aclara que para los tramos 1, se escogió la estación LA PRADERA ubicada en el municipio de TAURAMENA, por ser la estación activa más cercana a la zona de estudio y representa las características de la cuenca.

Año	Ener o	Febrer o	Marz o	Abri l	May o	Juni o	Juli o	Agost o	Septiembr e	Octubr e	Noviembr e	Diciembr e
1974	4	4	14	39	18	17	19	18	14	44	27	6
1975	17	15	29	47	34	44	69	68	64	80	47	32
1976	27	12	44	67	49	40	60	42	59	68	58	48
1977	6	54	46	70	31	30	25	41	23	54	76	26
1978	12	31	15	49	31	61	67	24	35	80	52	56
1979	17	19	26	42	21	23	24	52	23	50	29	11
1980	16	44	17	63	31	42	35	39	27	75	61	6
1981	6	23	27	80	55	22	29	24	37	64	43	18
1982	17	49	52	43	21	60	69	33	34	47	47	38
1983	8	12	16	87	68	33	54	62	46	47	56	11
1984	45	10	54	47	35	64	58	38	54	49	61	24
1985	47	25	47	55	68	35	61	60	25	61	38	27
1986	43	31	26	76	54	36	24	36	29	56	41	24
1987	18	6	57	81	51	32	60	30	25	71	41	49
1988	43	32	55	69	42	29	38	52	63	60	49	18
1989	31	4	51	72	50	51	68	63	37	70	32	42
1990	9	22	38	41	63	57	45	65	21	62	41	50
1991	5	35	58	70	64	63	69	54	40	79	75	31
1992	37	13	49	82	25	30	61	30	47	83	30	55
1993	52	11	48	84	32	23	52	59	34	73	59	29
1994	16	24	44	52	54	56	22	20	36	92	28	50
1995	13	5	28	67	28	46	27	26	42	54	70	42
1996	15	47	38	51	23	43	40	58	49	89	50	44
1997	28	53	45	63	40	57	35	18	52	51	62	32
1998	23	19	31	67	48	51	61	65	34	48	74	38
1999	23	26	18	87	20	46	45	37	14	77	60	32
2000	33	21	35	83	47	63	56	56	29	82	30	11
2001	53	52	35	53	60	50	63	26	64	52	63	18
2002	51	12	32	68	31	39	47	43	45	89	42	51
2003	10	22	62	44	62	43	59	33	37	65	65	29
2004	24	20	47	69	56	44	58	39	35	44	27	26
2005	9	34	49	39	25	36	65	54	60	92	39	44
2006	42	24	25	39	34	54	51	25	43	58	72	56
2007	32	35	16	60	45	61	25	22	29	52	54	17
2008	4	30	52	60	48	61	44	32	33	66	74	9
2009	39	46	63	83	32	18	38	18	21	89	34	36
2010	54	54	64	89	68	67	69	68	64	94	77	56

2011	54	21	29	88	28	48	37	53	17	92	40	47
2012	45	49	25	53	62	55	27	59	46	82	49	6
2013	44	46	14	68	42	32	24	67	34	64	36	28
2014	46	39	20	63	46	54	61	35	51	76	74	10
2015	53	38	45	67	48	20	59	35	15	44	74	14
2016	24	19	63	74	67	45	25	24	28	68	30	23
2017	14	32	32	65	66	44	44	62	54	87	47	20
2018	39	52	31	87	28	46	24	19	44	71	64	40
2019	37	8	63	88	20	62	22	66	36	88	42	34
2020	14	19	62	39	61	44	54	61	56	90	68	33
2021	18	42	30	66	28	30	42	43	30	73	35	56
2022	36	17	21	67	25	21	62	21	36	59	35	33
2023	4	4	14	39	18	17	19	18	14	44	27	6
max	54	54	64	89	68	67	69	68	64	94	77	56
MEDIA	27,14	27,24	38,04	64,04	42,06	42,90	45,84	41,86	37,70	68,10	50,10	30,84

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:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

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	177,5364	0,5000	202,3916
5	1,4999	190,2516	0,8000	216,8868
10	2,2504	198,6701	0,9000	226,4839
25	3,1985	209,3069	0,9600	238,6099
50	3,9019	217,1979	0,9800	247,6056
100	4,6001	225,0307	0,9900	256,5349
500	6,2136	243,1309	0,9980	277,1692

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

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

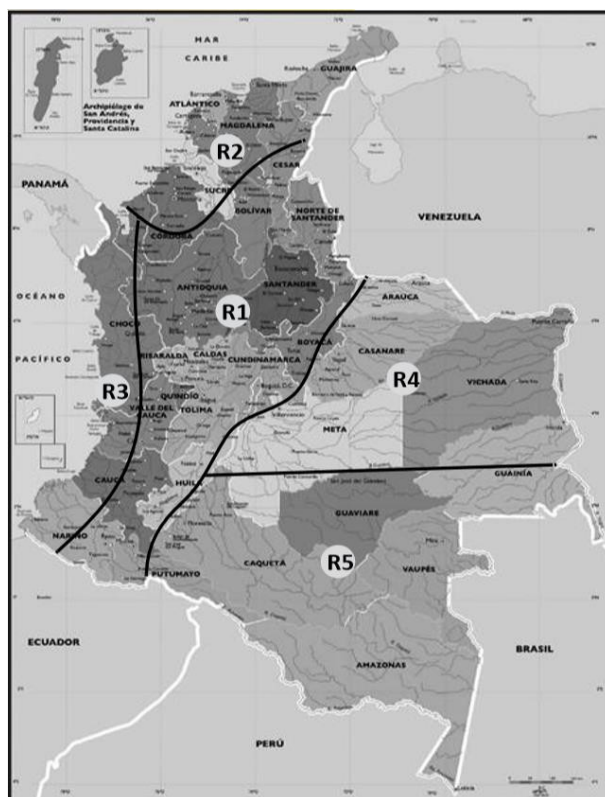


Ilustración 9. Regionalización de parámetros para estimación de IDF sintéticas según la metodología de VARGAS Y DÍAZ – GRANADOS

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 la estación de LA PRADERA que se presenta en la tabla 10, curvas generadas con los parámetros de la región ORINOQUIA.

Frecue ncia	Duración en minutos											
años	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	27,00	40,00	80,00	110,00	120,00
2,00	89,22	86,38	83,80	81,44	79,27	77,26	75,40	66,50	54,63	38,63	32,95	31,54
5,00	109,14	105,68	102,52	99,63	96,98	94,52	92,24	81,35	66,84	47,26	40,30	38,59
10,00	127,12	123,09	119,41	116,05	112,95	110,09	107,44	94,75	77,85	55,05	46,94	44,94
20,00	148,06	143,36	139,08	135,16	131,56	128,23	125,14	110,36	90,67	64,11	54,68	52,35
50,00	181,13	175,38	170,14	165,35	160,94	156,86	153,08	135,01	110,92	78,43	66,89	64,04
100,00	210,97	204,27	198,17	192,59	187,45	182,71	178,30	157,25	129,19	91,35	77,91	74,59

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

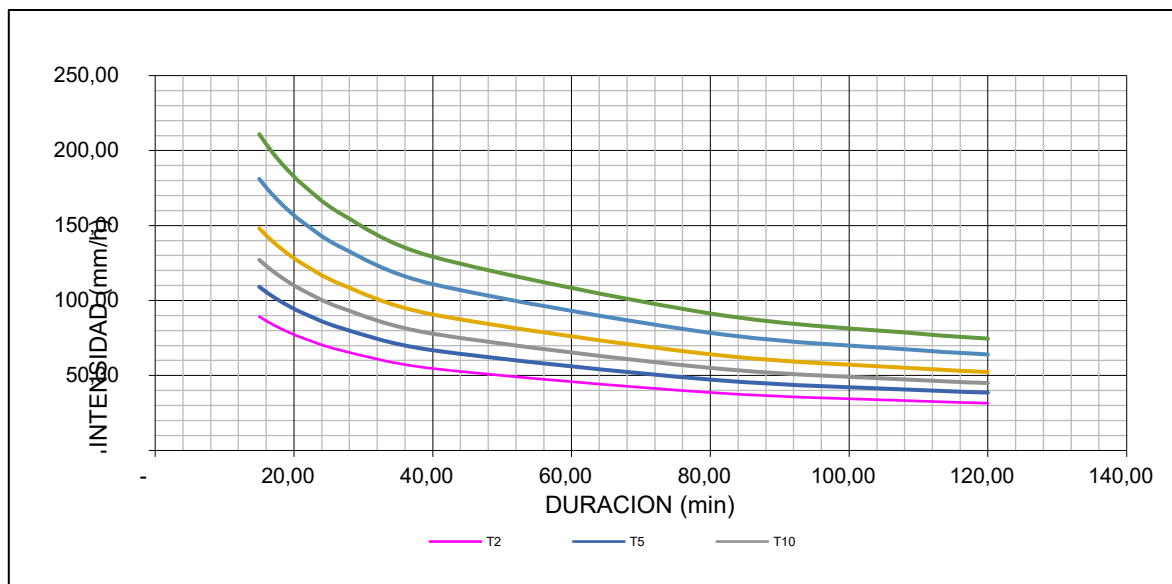


Ilustración 10. Curva IDF estación LA PRADERA.

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 TAURAMENA 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 km²
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 río 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 PRADERA" 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 PRADERA" 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	LA PRADERA	189876,44	193,07	205,55	217,94	0,14	10,78	12,08	13,40

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

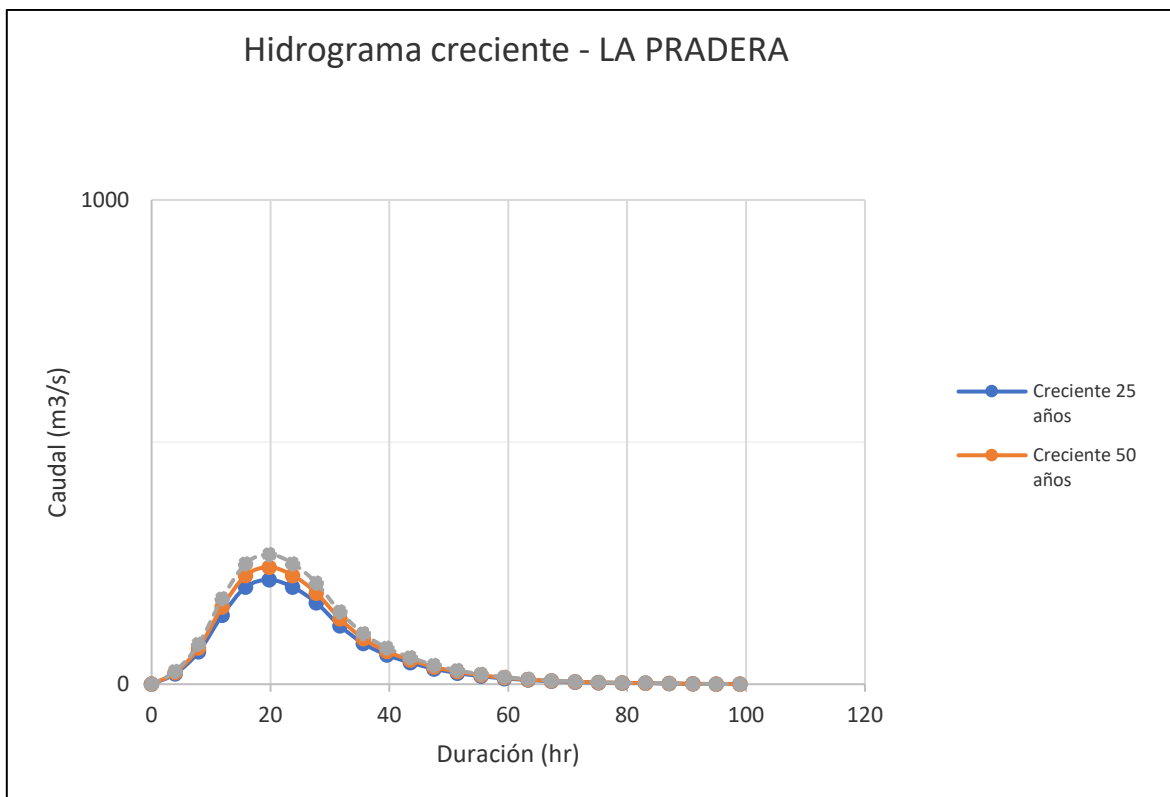


Ilustración 12. Hidrogramas sintéticos cuenca

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 Caída	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)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 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	
m ³		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-TAURAMENA*”

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, $c=0.7$.

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

Material	Velocidad máxima (m/s)
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.

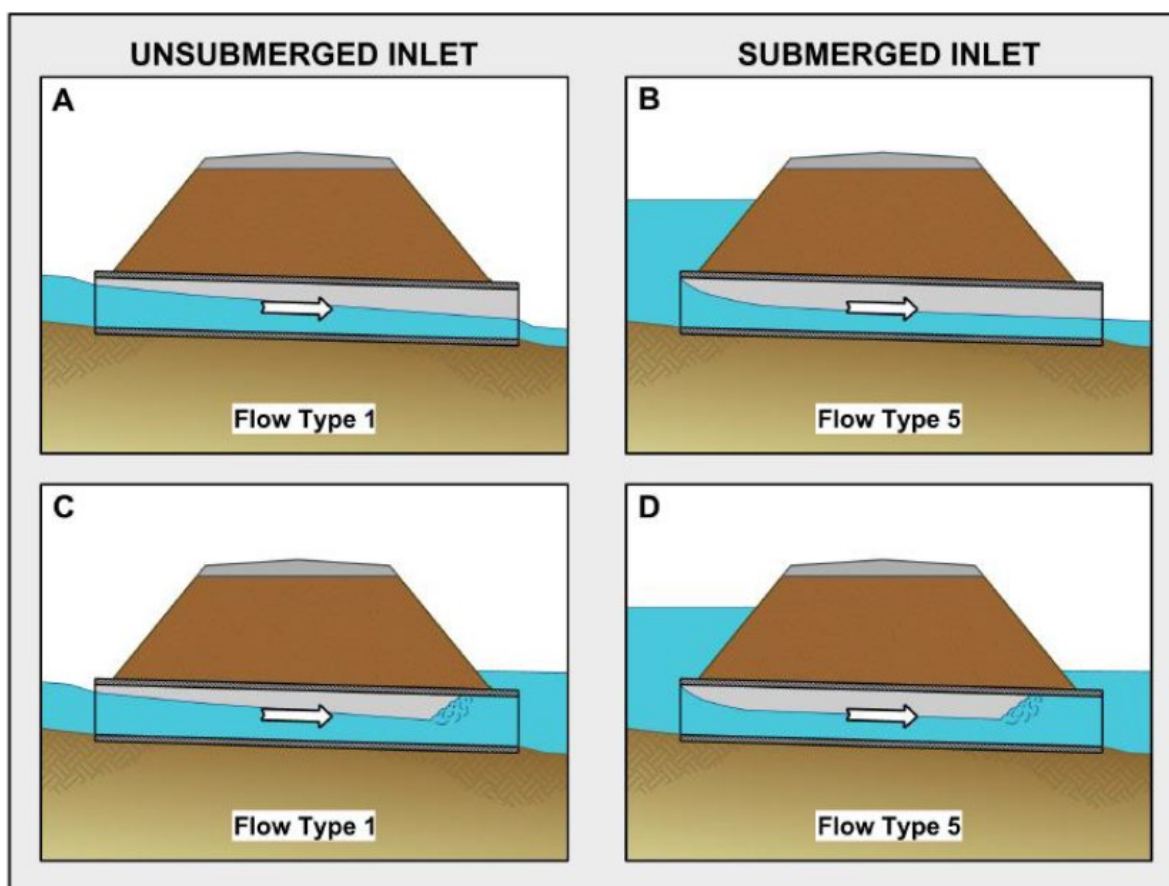


Ilustración 15. Tipo de flujo con control a la entrada

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 20 min, se tomó un coeficiente de escorrentía de 0.7 de la 8 tomada de la tabla propuesta en el RAS 2017.

Para terminar, se establece que los diseños recomendados son alcantarillas tipo invias de 36"

Las obras propuestas finalmente en los tramos viales analizados, se presentan en el Anexo "*DISEÑO DE ALCANARILLAS-TAURAMENA*"

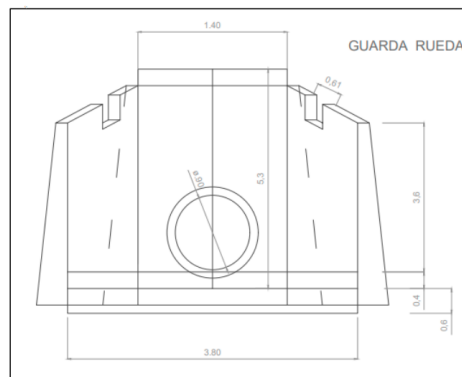


Ilustración 16. Alcantarilla de tubería de 36" de diámetro

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 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

7.4.4. Cuneta diseñada

Finalmente, para el tramo en diseño NO se requiere diseño de cuneta, ya que la estructura ira soportada sobre una estructura de terraplén, por esta razón el agua producto de la escorrentía ira bombeada por gravedad hacia las obras hidráulicas de arte propuestas para este proyecto "alcantarillas", revisar diseño de estructura de pavimento.

8. INVENTARIO OBRAS

A continuación, se resumen las estructuras a construir (Alcantarillas tipo invias 36").

TAURAMENA, CASANARE OBRAS NUEVAS A CONSTRUIR				
ALC	TRAMO	ABSCISA	OBSERVACION	TIPO OBRA
1	1	K0+150	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
2		K0+520	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
3		K0+770	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
4		K0+930	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
5		K1+120	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
6		K1+280	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
7		K1+440	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
8		K1+640	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
9		K1+800	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"
10		K1+970	OBRA NUEVA A CONSTRUIR	ALCANTARILLA TIPO INVIAS D= 36"

Tabla 21. Inventario de obras a construir.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las subcuencas donde se llevará a cabo mejoramiento mediante la construcción de pavimento flexible de la vía que comunica **LA VEREDA LA VENGANZA CON LA MARGINAL DE LA SELVA** municipio de TAURAMENA - CASANARE, presenta una pendiente promedio de: 5.24 % en la subcuenca que contiene los tramos 1.
- En los planos e información enviados NO se evidenciaron estructuras existentes en el tramo a intervenir.
- Se proyecta la construcción de 10 alcantarillas (10 en el tramo 1) tipo INVIAS de diámetro 0.9 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.
- 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.
- Este proyecto no contempla cuneta ya que su estructura contempla un terraplén el cual permite que el agua drene de manera adecuada hacia las alcantarillas, hay que asegurar que la vía se construya con el bombeo pertinente del 2%, aclarar que el terraplén es conformado de material granular que permite el correcto drenaje de las precipitaciones, el terraplén tendrá un pendiente de 0.8 con relación de 1 metro horizontal x 1.25 vertical.

ANEXOS



CARLOS MARIO MORENO ZAPATA

INGENIERO SANITARIO

MP 05237-79792