ESTUDIO HIDROLOGICO - HIDRAULICO



Consultor:

LIBARDO AUGUSTO TRIGOS RAMÍREZ
Ingeniero Civil – MsC en Construcciones
Colaborador:

AGUSTIN MACGREGOR TORRADO
Ingeniero Civil – MsC Recursos Hídricos

MUNICIPIO DE SAN MARTIN – CESAR
JULIO 2025

Dirección: Calle 13 # 16a-64 La Popa Ocaña N de S
Celular 316748796

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO 2
LISTA DE TABLAS 3
INTRODUCCIÓN 4
1. GENERALIDADES 5
1.1. Localización del área de estudio 5
1.2. Descripción general 7
1.3. Normas y manuales 7
2. CLIMATOLOGIA 8
2.1. Elementos del clima 9
2.2. Parámetros climáticos en la zona de estudio 9
2.2.1. Precipitación en la zona 11
2.2.2. Temperatura. 12
2.3. Hidrografía 13
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO 16
3.1 Áreas de drenaje. 17
3.2 Información de precipitación 18
3.2.1 Curva IDF – Método de Gumbel 19
3.3 Tiempo de concentración 24
3.4 Calculo de coeficientes de escorrentía 25
3.5 Intensidad de precipitación 27
3.6 Calculo de Hidrograma Sector de estudio _ Plaza de Ferias – San Martin .. 27
3.6.1 Escorrentía de la zona de estudio 27
3.7 Caudal de diseño – Método Racional – Box Coulvert existente 29
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS 30
4.1 Topografía del área de estudio: 30
4.2 Identificación de variables 32
5 DISEÑO HIDRÁULICO 34
5.1. Diseño hidráulico de Obras 34
5.1.1. Periodo de retorno 34
5.1.2. Coeficiente De Rugosidad 35
5.1.3. Pendiente de las obras Hidráulicas 36

5.1.4 Alineación 36
5.1.5. Borde libre. 36
5.2. Capacidad hidráulica de las vías aledañas al proyecto 36
5.1 Diseño sumidero 38
5.2.1 Sumidero Rejilla 38
5.3. Sistema de Alcantarillado Pluvial 44
5.3.1. Áreas del Proyecto 44
5.3.2. Escorrentía del área de estudio 44
5.3.3. Diseño del sistema de alcantarillado Pluvial 44
CONCLUSIONES 46
RECOMENDACIONES 48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Información de estación IDEAM 11
Tabla 2. Áreas de drenaje Proyecto “Plaza de Ferias” 17
Tabla 3. Precipitación máxima anual 2000 – 2024 Estación Dorada La 19
Tabla 4 Tiempo de concentración en los sectores de estudio 25
Tabla 5 Numero de curva zona del proyecto 26
Tabla 6 Precipitaciones 13 -18 noviembre de 2016 26
Tabla 7. Numero de Curva _ Corrección por humedad sector_ Precipitación efectiva – zona de estudio 27
Tabla 8. Caudales de diseño para cada sector de estudio 29
Tabla 9 Nivel de complejidad del sistema 34
Tabla 10 Coeficiente de Manning RAS 35
Tabla 11. Capacidad Hidráulica de las vías del proyecto 37

INTRODUCCIÓN

Históricamente en el municipio San Martin, Cesar las temporadas invernales causan inundaciones en diferentes zonas urbanas. Con el fin de mitigar dichas amenazas se han construido obras que permitan el control, a través de la captación y transporte de la escorrentía superficial.

En la actualidad existe un aumento en la construcción de proyectos, los cuales se están desarrollando en los sectores de expansión del municipio, así como de zonas veredales, es ahí donde algunos de estos proyectos se han planificado en sectores donde existe alguna amenaza por inundación, ya que su ubicación colinda con ríos o quebradas de tipo permanente o Semi permanente en temporadas de invierno.

Es por lo que, en aras de mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector, salvaguardar su integridad, brindar mayor seguridad a la población donde se construirá el Proyecto de "***Construcción de Plaza de Ferias – San Martin - Cesar***", se realizó el presente estudio que comprende "ESTUDIO HIDROLOGICO - HIDRAULICO", con el objeto de determinar el comportamiento hidráulico en las área de estudio ante fenómenos extremos con periodos de retorno a 2 años ante los lapsos del periodo bimodal el cual presenta importantes precipitaciones para los meses (marzo – mayo) y (septiembre – noviembre) siendo este último el más representativo para en el municipio de San Martin Cesar así como de gran parte del territorio Colombiano.

.

1. GENERALIDADES

1.1. Localización del área de estudio

San Martín comprende 905.55 km^2 aproximadamente de las cuales la mayor parte del terreno es plano y el resto es zona montañosa correspondiente a la Serranía del Perijá.

Actualmente el Municipio de San Martín, Cesar; cuenta con 18.068 habitantes, de los cuales 6.395 (35.40%) se encuentran en la Cabecera Municipal y 11.673 (64.60%) en la zona rural, observándose una tasa de crecimiento del 1.2% anual, considerada como la tercera más baja del Departamento del Cesar. Según DANE CENSO 1993, proyección año 2000.

La mayor Población del Municipio está compuesta principalmente por personas que trabajan en las fincas, existen núcleos urbanos que han conformado corregimientos y caseríos; la principal actividad económica de los habitantes es la agricultura y en menor escala la ganadería casi la totalidad de los habitantes son de bajos recursos.

Límites Generales:

La región se encuentra ubicada al sur del departamento del Cesar, limitando:
Al sur con el Municipio de San Alberto
Al oriente con el Municipio de Ocaña en el departamento de Norte de Santander
Al norte con los Municipios de Aguachica y Río de Oro
Al occidente con Santander con límites en el río Lebrija.

Límite Oficial

Norte: Con El municipio de Río de Oro, partiendo del filo el Burro, en línea recta, dirección sur-oeste hasta encontrar el nacimiento de la quebrada tisquirama, por estas aguas abajo, por el cauce contiguo hasta encontrar la línea férrea (Ferrocarril

del Atlántico), en este punto, el límite con el municipio de Aguachica. Continua por la línea del ferrocarril hacia el sur hasta encontrar la quebrada Caimán, por estas aguas abajo hasta su desembocadura en el río Lebrija. Excluyendo el corregimiento de Campo Amalia, que continuará perteneciendo al municipio de Aguachica.

Occidente: Desde la desembocadura de la quebrada Caimán en el río Lebrija, estas aguas abajo hasta la desembocadura en el río Magdalena, siempre al occidente, por el río Magdalena aguas arriba hasta la desembocadura del Caño Chocó.

Sur: Desde la desembocadura del caño Chocó y por estas aguas arriba hasta su nacimiento en el río Lebrija. Río Lebrija aguas arriba hasta la Boca de las Montañitas; de este punto en línea recta hacia el oriente, hasta la cordillera de los andes, pasando por la cresta del diablo. De aquí hacia el nor-oriente hasta La Cintura de los Indios, en límites con el municipio de San Alberto y el municipio de Ábrego (N.S.).

Oriente: De la cintura de los indios con el Municipio de Ábrego (N.S.), siguiendo por la serranía de jurisdicciones hacia el norte hasta encontrar el alto de San Antonio en el filo de El Burro, primer punto de partida

La Zona De Estudio Se Localiza Sobre la vía nacional, la cual comunica al municipio de San Martin con el municipio de Aguachica Cesar. Ver En La Figura 1.

Figura 1 Localización de las áreas de estudio



Fuente: Google Earth – Editado 2025

1.2. Descripción general.

El proyecto tiene como propósito la construcción de la plaza de ferias del municipio de San Martin así como del corredor vial para su acceso; el objetivo es analizar el comportamiento hidrológico e hidráulico del área de estudio; la pendiente igualmente presenta variaciones en el recorrido y aumenta su caudal en temporadas de invierno.

1.3. Normas y manuales

Los análisis y alternativa propuesta se realizaron siguiendo estrictamente lo reglamentado por las siguientes normas y manuales en su última versión vigente.

- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Resolución 0330 de 2017) y la RESOLUCION 1096 DE 2000

2. **CLIMATOLOGIA**

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial hace que esté bajo la influencia de la circulación de corrientes de aire húmedo, como los vientos alisios que convergen el territorio originando núcleos nubosos de gran desarrollo pluviométrico. La zona de gran desarrollo en nubes o cinturón nuboso denominado Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT); que se mueve a través de todo el territorio colombiano desplazándose desde la frontera Colombo-ecuatoriana, luego hacia la Costa Atlántica y regresa al sur.

Un factor modificador temporal del clima en nuestro país es el fenómeno de “La Niña”. Este es un acontecimiento de naturaleza netamente oceánica y atmosférica y de la relación entre ellos como factores dinámicos generados y reguladores del clima mundial. Su manifestación espacial y temporal en nuestro territorio ha sido estudiada de manera sectorial.

El clima abarca los valores estadísticos sobre los elementos del tiempo atmosférico en una región durante un período representativo: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente. Estos valores se obtienen con la recopilación de forma sistemática y homogénea de la información meteorológica, durante períodos que se consideran suficientemente representativos. Estas épocas necesitan ser más largas en las zonas subtropicales y templadas que en la zona intertropical, especialmente, en la faja ecuatorial, donde el clima es más estable y menos variable en lo que respecta a los parámetros climáticos.

Los factores naturales que afectan al clima son la latitud, altitud, continentalidad, relieve, corrientes marinas, vegetación, vientos y rayos solares. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente.

2.1. Elementos del clima

Los elementos constituyentes del clima son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones. Tener un registro durante muchos años de los valores correspondientes a dichos elementos con respecto a un lugar determinado, nos sirve para poder definir cómo es el clima de ese lugar. De estos cinco elementos, los más importantes son la temperatura y las precipitaciones, porque en gran parte, los otros tres elementos o rasgos del clima están estrechamente relacionados con los dos que se han citado. Ello significa que la mayor o menor temperatura da origen a una menor o mayor presión atmosférica, respectivamente, ya que el aire caliente tiene menor densidad y por ello se eleva (ciclón o zona de baja presión), mientras que el aire frío tiene mayor densidad y tiene tendencia a descender (zona de alta presión o anticiclón). A su vez, estas diferencias de presión dan origen a los vientos (de los anticiclones a los ciclones), los cuales transportan la humedad y las nubes y, por lo tanto, dan origen a la desigual repartición de las lluvias sobre la superficie terrestre.

2.2. Parámetros climáticos en la zona de estudio

El clima como componente del sistema físico-biótico se constituye en uno de los principales elementos a tener en cuenta en el momento de formular los planes de ordenamiento del territorio, por cuanto influye directamente en la evolución de los demás componentes del ambiente. Define de alguna manera, junto con otros factores físicos, químicos y biológicos la aparición, transformación y desarrollo del suelo, la modelación de este, la ocurrencia de catástrofes naturales e incide en que ocurran desastres antropogénicos y mixtos; determina la adopción de patrones culturales en las comunidades, el tipo de actividad económica a desarrollar en las regiones, entre otras.

La información climatológica para la formulación del presente documento fue suministrada por la estación meteorológica tipo ordinaria “La Llana” del municipio de San Alberto, Cesar, localizada a 07°44’ de latitud norte y 73°32’ de longitud oeste a una altura sobre el nivel del mar de 120 m. Esta estación está dentro de nuestra

Zona Media, para la zona Alta y la Baja, se tiene los datos de estaciones particulares como son las de los cultivos de palma y arroz.

Tomando de marco referencial los pisos térmicos y la relación IDEAM[1], donde relaciona temperatura y alturas, mediante la siguiente formula (Y= -0.0060X + 29.1890; Y= Temperatura, X= elevación en m), introduciendo rangos altitudinales, se determinó que el Municipio presenta las siguientes unidades climáticas.

Cálido: Comprende rangos de altura entre 0-1000msnm y temperaturas mayores de 24ºC. Abarca la mayor parte del territorio de San Martín.

Templado: Comprende rangos de altura entre 1000-2000msnm y temperaturas que varían entre 24 y 18ºC. Abarca una extensión del sistema montañoso de la serranía.

Frío: Comprende rangos de altura mayores de 2000msnm y temperaturas menores de 18ºC. Abarca la parte más alta de la serranía.

Para el estudio se compilo la información climatológica disponible de la estación DORADA LA [23190520] propiedad y dominio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Se seleccionó la estación DORADA LA para el análisis de la precipitación en la zona, debido a su ubicación y cercanía de la cuenca hidrográfica que cubre las áreas de influencia del proyecto, adicionalmente el periodo de información existente genera mayor confiabilidad en los datos, debido que presenta registros dentro de una ventana de observación favorable para el análisis de dicho proyecto. Se analizaron los datos de las estaciones teniendo en cuenta que este cubrimiento es representativo de las diferentes altitudes y de las características climatológicas

[1] *IDEAM, Área operativa Nº8. Estudios de la temperatura para el departamento de Santander.*

Tabla 1 *Información de estación IDEAM*

ESTACION	CÓDIGO	MUNICIPIO	TIPO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	ELEVACION (MSNM)	AÑOS DE REGISTRO
CORADA LA	**[**23190520**]**	San Martin	C	7.9955555560 N-- 73.43972222 O	271	2000 - 2024

Fuente: IDEAM

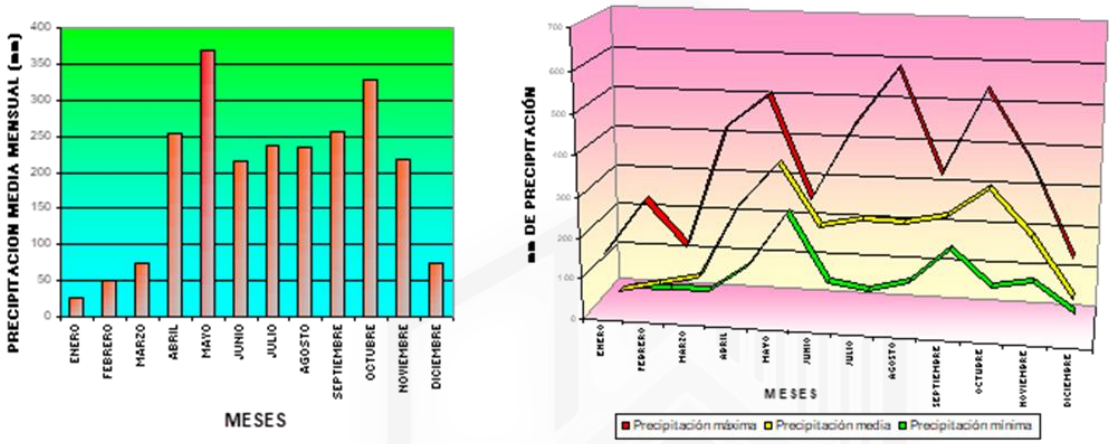
2.2.1. Precipitación en la zona

En Colombia opera la “geografía vertical” (Gulh, 1975) citado por CORPOCESAR-ECOCARBÓN (1996), gracias a las condiciones orográficas y a la posición ecuatorial del territorio nacional, es de esperarse que en gran parte de la jurisdicción del municipio de San Martín la distribución altitudinal de la lluvia permanezca constante por la relativa uniformidad que presenta el relieve en el sector centro-occidental (65 % plano).

El área objeto de estudio presenta régimen climático bimodal con un valor de precipitación total anual de 2339.3 mm. Se observan dos picos pronunciados en el histograma de precipitación media mensual, claramente definidos con máximos en los meses de mayo y octubre cuyo valor medio es de 367.8 y 328.9 mm respectivamente

Entre los meses de julio y agosto el régimen pluviométrico permanece más o menos estable con una media mensual de 236.6 mm. Ocurre un descenso brusco en las lluvias entre octubre y enero que va desde 328.9 mm hasta 26.8 mm en este último mes. Las lluvias incrementan suavemente entre enero y marzo a partir del cual la pluviosidad aumenta aceleradamente hasta mayo. Los valores medios mensuales de precipitación se observan en la tabla 1. Y la desviación de las precipitaciones con respecto a la media.

Figura 2. Distribución media mensual de la precipitación en el municipio San Martín-Cesar, estación La Llana, período 1974-1995 y Comportamiento de las precipitaciones con respecto a la media en el municipio de San Martín, estación La Llana, período 1974-1995



Fuente: EOT_ San Martin Cesar

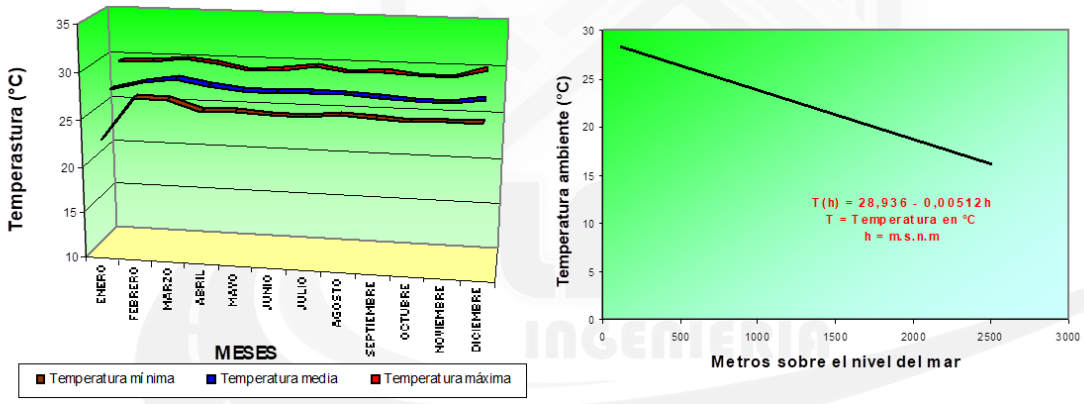
2.2.2. Temperatura.

El municipio en mención presenta temperaturas fluctuantes a lo largo del año, iniciando su ascenso en el mes de enero para finalizarlo en marzo, mes donde se registra la máxima temperatura del año alcanzando 28.6 °C y del cual comienza a declinar hasta los meses de mayo y junio con 27.6 °C. Entre julio y septiembre las oscilaciones en la temperatura no son muy notorias, sin embargo, al llegar octubre se presenta el mínimo valor registrado por esta variable durante el año, 27.2 °C, incrementado hasta el mes de diciembre donde llega a 27.7 °C. La media anual (obtenida a partir de las medias mensuales) equivalente a 27.7 °C en la parte baja de su jurisdicción, del sector oriental sobre la Serranía del Perijá aún no se tienen valores.

Durante los 21 años de registro en la estación La Llana, las temperaturas han fluctuado con respecto a la media.

Gradiente Térmico: Si se acepta la información de CORPOCESAR (1996,13) la cual dice que “la temperatura en el departamento del Cesar en relación con la altura sigue una curva determinando lo que se puede esperar, al menos para la mayor parte de la zona del municipio de San Martín (65% zona plana), es la existencia de un gradiente de temperatura bajo por la casi nula diferencia de altitud en el sector centro occidental del ente territorial, que no es el caso para el territorio del costado oriental sobre la Serranía del Perijá, donde existen cambios bruscos en la topografía.

Figura 3 Comportamiento de la temperatura con respecto a la media en el municipio de San Martín, Cesar, estación La Llana, período 1974-1995 y Curva de gradiente térmico para el departamento del Cesar, CORPOCESAR (1996, 13)



Fuente: EOT_ San Martin Cesar

2.3. Hidrografía

El Municipio de San Martín, es rico en recurso hídrico; su principal afluente es la quebrada Torcoroma, que nace en la Vereda El Cobre y riega una extensa zona productora de Arroz y Palma. En la parte Occidental y en los límites con el Departamento de Santander se encuentra el recorrido del Río Lebrija formándose dentro del territorio municipal una Ciénaga llamada Pita, rica en pesca que abastece a la Región en un alto porcentaje. Además, existen las Quebradas afluentes de la micro cuenca La Rayita, La Dorada, El Bejuco, Los Mangos, La Colorada, Aguas

Calientes, El Socorro (Vrda. El Loro), Aguas Blancas, San Pablo, Mariquita (Vrda. El Limón), y Sardinas (Vrda. Vega del Oso). Por ser esta quebrada la principal fuente de abastecimiento del casco urbano como de gran parte de la zona rural.

Existen métodos para medir las diferentes dimensiones de una cuenca como son área, perímetro, longitud axial, etc, el análisis de estos elementos físicos proporciona la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos de régimen hidrológico, de estas dimensiones se realizó en la cartografía 1:25.000, que corresponde a la utilizada para el desarrollo del presente estudio.

En el área de estudio se encuentran las microcuencas de las quebradas: El Caimán, La Huila, Torcoroma, Aguas Negras y San Albertico, las cuales hacen parte de la Subcuenca del río Lebrija.

La quebrada Torcoroma pertenece en su mayor parte al municipio de San Martín, una pequeña parte en la cabecera de la microcuenca le pertenece al Departamento de Norte de Santander.

Se constituye en la principal fuente de agua del municipio, abastece de agua la cabecera municipal y veredal, de igual forma es utilizada para el riego de cultivo en algunas zonas de la región.

-MICROCUENCA QUEBRADA EL CAIMAN

Tiene un área de 171.52 km2, su cauce nace en la elevación 150 msnm. Y desciende hasta una elevación de 50 msnm en una longitud de 6.849,3 mt . Sus principales afluentes son: Caño Seco con una longitud de 5.602,32 mt y Aguas Negras con una longitud de 11.437,05 mt.

-MICROCUENCA QUEBRADA LA HUILA

Tiene un área de 319.22 km2, su cauce nace en la elevación 300 msnm. y desciende hasta una elevación de 50 msnm en una longitud de 22.226,4 mt.

-MICROCUENCA QUEBRADA TORCOROMA

Tiene un área de 181,38 km2, su cauce nace en la elevación 650 msnm. Y desciende hasta una elevación de 50 msnm en una longitud de 19.050 mt .

-MICROCUENCA QUEBRADA AGUAS NEGRAS

Tiene un área de 107.67 km^2, su cauce nace en la elevación 200 msnm. Y desciende hasta una elevación de 50 msnm en una longitud de 13.407,44 m. Sus principales afluentes son: Quebrada el Barro con una longitud de 11.081,04 m y Quebrada Aguas Blancas con una longitud de 20.409,59 m.

-MICROCUENCA QUEBRADA SAN ALBERTICO

Tiene un área de 125.74 km^2, su cauce nace en la elevación 200 msnm. Y desciende hasta una elevación de 50 msnm en una longitud de 13.330,49 m. Sus principales afluentes son: Quebrada Minas con una longitud de 32.379,24 m y Caño Bagres con una longitud de 16.307,74 m.

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico contempla el análisis y procesamiento de los datos hidrológicos disponibles para el cálculo de caudales para diseños hidráulicos, adicionalmente en la visita realizada en la zona se realizó una identificación de las zonas afectadas por las lluvias de las temporadas invernales para complementar la información obtenida durante el estudio.

En este estudio se analizaron los diferentes factores que influyen en la ocurrencia de flujo de escorrentía superficial en cada una de las áreas del proyecto, encontrando la necesidad de proyectar infraestructura que permita realizar el drenaje controlado de las aguas que circulan por la superficie y por ende minimizar el riesgo, los cuales se presenta en los planos del proyecto "***ESTUDIOS Y DISEÑOS PREVIOS PROYECTO "CONSTRUCCION PLAZA DE FERIAS – MUNICIPIO DE SAN MARTIN - CESAR".***

Luego de realizar la delimitación de las áreas de drenaje y analizar la información de las estaciones en la zona, se concluyó que la estación con la cual se va a desarrollar el estudio es la denominada como "Dorada La". De esta estación se utilizaron datos de precipitaciones diarias, seguidamente se aplicó la prueba de datos dudosos para descartar los valores que estuvieran fuera del rango de confiabilidad, el rango utilizado fue del 95%. Con los datos filtrados se procedió construir una curva IDF por el método de Gumbel con el fin de tener una referencia de trabajo, ya que estas curvas solo se utilizan para la estimación de caudales por el método racional, el cual para este proyecto se recomienda usar por el tamaño de la cuenca que no supera en gran magnitud el área recomendada de 10 km^2. Igualmente, se analizará con el método del Soil Conservation Service, para el cual se analizó la precipitación del máximo evento en la ventana de tiempo (24 años) que corresponde a una precipitación de 150 mm registro tomado por dicha estación de análisis en el año 2016

3.1 Áreas de drenaje.

Es el medio circundante donde las actividades de construcción y operación del proyecto inciden directamente y será aquella en la cual se implantará toda la infraestructura de captación y transporte de escorrentía. Para determinar el área de incidencia se utilizan criterios geográficos (Topografía) en las zonas donde se proyecta la construcción de obra nueva “Construcción Plaza de Ferias – San Martin - Cesar”. Se habla de área de influencia para referir el área geográfica en la que su población será beneficiada positivamente por las actividades constructivas. El área de influencia tiene una serie de variables y criterios para su delimitación como lo son: Factores ambientales (topografía, hidrología), infraestructura (vías, puentes, alcantarillado sanitario y pluvial, agua potable, comunicación, densidad de la población, viviendas) y factores socioeconómicos. Adicionalmente, se deben definir las áreas o cuencas sanitarias, que van a hacer aportes (áreas aferentes) de caudal al sistema, identificando las quebradas, caños y coberturas que se encuentren en la cuenca de análisis.

El área de drenaje que actualmente maneja el proyecto está compuesta por tres tipos de cobertura.

1. Zona montañosa, ladera con vegetación.
2. Zona montañosa, ladera sin vegetación.
3. Zona urbana.

El proyecto presenta las siguientes áreas de drenaje.

Tabla 2. Áreas de drenaje Proyecto “Plaza de Ferias”

ZONA OBRA NUEVA	AREA ha
Zona Laderas No Protegidas	10.5
Zonas urbanas	1.2

Fuente: Consultor

Figura 4. Áreas de drenaje Proyecto "*Plaza de Ferias – San Martin Cesar"*



Fuente: Google Earth Editado 2025

3.2 Información de precipitación

A continuación, se muestran los datos de precipitación anual en mm, de la estación conocida con el nombre de "Dorada La", la cual se encuentra ubicada Cerca al municipio de San Martin - Cesar; esta permite un mejor análisis y confiabilidad en los cálculos que se adelantaran en el presente documento. Cabe resaltar que la información suministrada corresponde a los últimos veinticuatro años con que se tienen registros oficiales, comprendido entre el 2000 y 2024, Ver tabla 3

Tabla 3. Precipitación máxima anual 2000 – 2024 Estación Dorada La

Estación La Dorada San Martin (2000 - 2024)	
Años	Precipitación (mm)
2000	110
2001	105
2002	70
2003	130
2004	100
2005	82
2006	126
2007	130
2008	120
2009	130
2010	114
2011	120
2012	110
2013	135
2014	130
2015	97
2016	150
2017	125
2018	150
2019	118
2020	135
2021	140
2022	116
2023	130
2024	130

Fuente: IDEAM

3.2.1 Curva IDF – Método de Gumbel

Para el proyecto se planifico la construcción de unas curvas IDF por el método de Gumbel, posteriormente a la construcción se utilizará la curva con un periodo de retorno de 50 años a partir del cálculo de cada uno de los tiempos de concentración

definidos en cada uno de los proyectos con el objetivo de estimar las intensidades que serán usadas para el cálculo de los caudales de diseño en cada zona de análisis.

A continuación, en las imágenes se puede ver un pequeño procedimiento de la construcción de las curvas IDF.

Figura 5. Variables de entrada

Promedio	120,120
Desv Stan (s)	19,001

La desviación estándar es:

$\beta\pi/\sqrt{6}.$

La media es $\mu + \gamma\beta$ donde γ = Constante de Euler-Mascheroni ≈ 0.5772156649015328606.

pi	3,14159
Beta	14,81
euler mascheroni	0,57722
μ	111,5687

Fuente: Consultor

Figura 6.. Periodo de retorno

Tabla 2. Calculo de las precipitaciones diarias maximas probables para diferentes periodos de retorno

	VARIABLE REDUCIDA YT	PRECIPITACION XT-	Probabilidad de ocurrencia	Correcion de intervalo fijo
Periodo de retorno	$Y_t = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$	$\bar{x} = u + Y_t \cdot \beta$	$F_{(x,\mu,\beta)} = e^{-e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}}$	$X_{(\text{corregido})} = 1.13 \cdot X_t$
2	0,367	116,998	0,500	132,2
5	1,500	133,790	0,800	151,2
10	2,250	144,907	0,900	163,7
25	3,199	158,954	0,960	179,6
50	3,902	169,375	0,980	191,4
75	4,311	175,432	0,987	198,2
100	4,600	179,719	0,990	203,1
500	6,214	203,622	0,998	230,1

Fuente: Consultor

Figura 7.. Varia P.M.P(mm) para diferentes tiempos de duración Sg. Periodo de retornables de entrada

Tabla 3. Precipitacion maxima Pd (mm) por tiempos de duracion de lluvia

DURACION	FACTOR DE	P.M.P(mm) para diferentes tiempos de duracion Sg. Periodo de retorno							
		2	5	10	25	50	75	100	500
24	1	132,21	151,18	163,75	179,62	191,39	198,24	203,08	230,09
18	0,91	120,31	137,58	149,01	163,45	174,17	180,40	184,80	209,38
12	0,8	105,77	120,95	131,00	143,69	153,12	158,59	162,47	184,07
8	0,68	89,90	102,80	111,35	122,14	130,15	134,80	138,10	156,46
6	0,61	80,65	92,22	99,88	109,57	116,75	120,93	123,88	140,36
5	0,57	75,36	86,17	93,33	102,38	109,09	113,00	115,76	131,15
4	0,52	68,75	78,61	85,15	93,40	99,52	103,08	105,60	119,65
3	0,46	60,82	69,54	75,32	82,62	88,04	91,19	93,42	105,84
2	0,39	51,56	58,96	63,86	70,05	74,64	77,31	79,20	89,74
1	0,3	39,66	45,35	49,12	53,89	57,42	59,47	60,92	69,03

Fuente: Consultor

Figura 8.. Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno

Tabla 4. Calculo de intensidad (mm/h)

tiempo de duracion		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno							
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24	1440	5,509	6,299	6,823	7,484	7,975	8,260	8,462	9,587
18	1080	6,684	7,643	8,278	9,081	9,676	10,022	10,267	11,632
12	720	8,814	10,079	10,916	11,975	12,760	13,216	13,539	15,340
8	480	11,238	12,851	13,918	15,268	16,268	16,850	17,262	19,558
6	360	13,441	15,370	16,647	18,261	19,458	20,154	20,647	23,393
5	300	15,072	17,235	18,667	20,476	21,819	22,599	23,151	26,231
4	240	17,187	19,654	21,287	23,350	24,881	25,771	26,401	29,912
3	180	20,272	23,181	25,108	27,541	29,347	30,397	31,139	35,281
2	120	25,781	29,481	31,930	35,026	37,322	38,656	39,601	44,868
1	60	39,662	45,355	49,124	53,885	57,418	59,471	60,925	69,028

Fuente: Consultor

Figura 9. Resumen de aplicación de regresión potencial

$$Y = \alpha \cdot X^{\beta} \qquad \begin{cases} \Sigma logY = log\alpha \cdot N + \beta \cdot \Sigma logX \\ \Sigma logX \cdot logY = log\alpha \cdot \Sigma logX + \beta \cdot \Sigma (logX)^2 \end{cases}$$

Tabla 5. Resumen de aplicación de regresion potencial

periodo de retorno	Coef de regresion	Exp de regresion
2	499,82	-0,616
5	571,55	-0,616
10	619,04	-0,616
25	679,05	-0,616
50	723,57	-0,616
75	749,44	-0,616
100	767,76	-0,616
500	869,87	-0,616
Promedio	685,0125	-0,616

Fuente: Consultor

Figura 10. Ecuación para cálculo de las curvas IDF

$$I = \frac{484{,}24\ T^{0{,}0992}}{t^{0{,}616}}$$

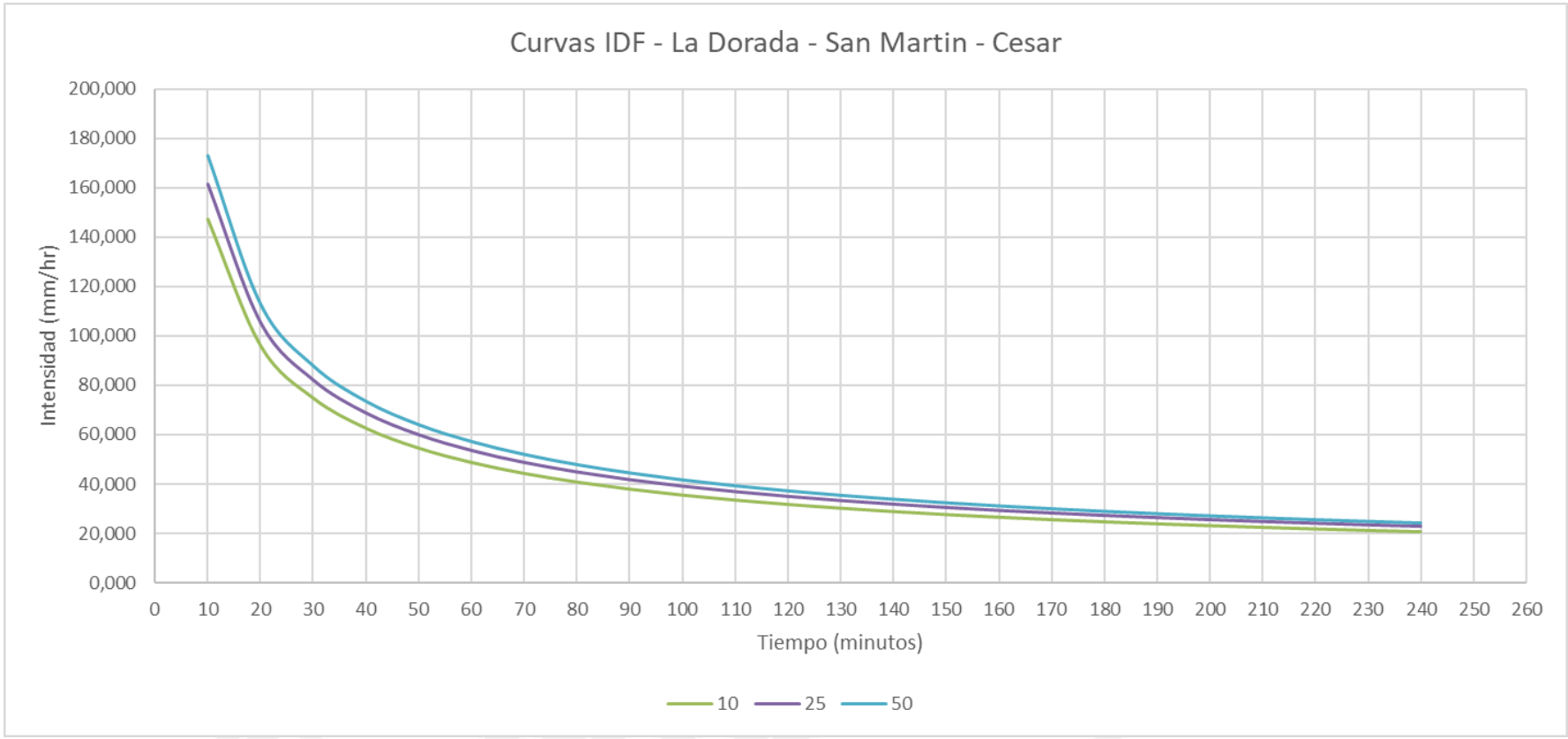
Fuente: Consultor

Figura 11. Cálculo de las curvas IDF

Duracion (t min)	frecuencia (T años)							
	2	5	10	25	50	75	100	500
10	125,581	137,530	147,320	161,338	172,822	179,915	185,123	217,169
20	81,939	89,735	96,123	105,269	112,762	117,390	120,789	141,698
30	63,829	69,902	74,878	82,003	87,840	91,445	94,092	110,380
40	53,463	58,550	62,718	68,686	73,575	76,595	78,812	92,455
50	46,597	51,031	54,663	59,865	64,126	66,758	68,690	80,581
60	41,647	45,610	48,856	53,505	57,314	59,666	61,393	72,021
70	37,874	41,478	44,430	48,658	52,122	54,261	55,832	65,496
80	34,883	38,203	40,922	44,816	48,006	49,976	51,423	60,325
90	32,442	35,529	38,058	41,680	44,646	46,479	47,824	56,103
100	30,403	33,296	35,667	39,060	41,841	43,558	44,819	52,577
110	28,670	31,398	33,633	36,833	39,455	41,074	42,263	49,579
120	27,174	29,759	31,878	34,911	37,396	38,931	40,058	46,992
130	25,866	28,328	30,344	33,231	35,597	37,058	38,130	44,731
140	24,712	27,063	28,990	31,748	34,008	35,404	36,429	42,735
150	23,684	25,937	27,784	30,427	32,593	33,931	34,913	40,957
160	22,761	24,926	26,701	29,241	31,323	32,608	33,552	39,360
170	21,926	24,013	25,722	28,170	30,175	31,413	32,322	37,918
180	21,168	23,182	24,832	27,195	29,131	30,326	31,204	36,606
190	20,474	22,423	24,019	26,304	28,176	29,333	30,182	35,407
200	19,838	21,725	23,272	25,486	27,300	28,421	29,243	34,306
210	19,250	21,082	22,583	24,731	26,492	27,579	28,377	33,290
220	18,706	20,486	21,945	24,033	25,743	26,800	27,576	32,349
230	18,201	19,933	21,352	23,384	25,048	26,076	26,831	31,476
240	17,730	19,417	20,799	22,779	24,400	25,401	26,137	30,661

Fuente: Consultor

Figura 12*. Curvas IDF*



Fuente: Consultor

3.3 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración de una cuenca, se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos.

Aunque el cálculo de los diferentes tiempos de concentración para una hoya hidrográfica difiere de acuerdo con la fórmula empleada, se requiere que se utilice, desde el punto de vista de la seguridad en relación con menores tiempos de concentración (mayores intensidades de precipitación y/o histogramas de lluvias más concentrados), la fórmula de Kirpich. Por otro lado, se tomará como mínimo un tiempo de concentración igual a 15 min, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoya y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración.[2]

El cálculo del tiempo de concentración se obtuvo a partir de la ecuación de Kirpich (ver figura 13), ahora bien, para las condiciones de la zona de estudio se encontraron los siguientes valores.

[2] Manual de drenaje INVIAS 2011

Figura 13*. Ecuación de Kirpich*

Kirpich (1940)

$t_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$ **Ecuación 5 Tiempo de concentración Kirpich**

Donde:
t_c = Tiempo de concentración (min).
L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (pies).
S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red.

En la tabla 4 se puede observar el tiempo de concentración de los diferentes sectores de estudio del proyecto del municipio de El Tarra Norte de Santander.

Tabla 4 Tiempo de concentración en los sectores de estudio

Localización	Longitud (km)	*Tc(min)*
Vía Universidad del Catatumbo	0.523	8.77

Fuente: Consultor

3.4 Calculo de coeficientes de escorrentía

La RAS señala que en general, para el cálculo del caudal de diseño de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias se debe hacer uso de los métodos modernos de lluvia-escorrentía que incluyan modelos de infiltración. Estos últimos modelos incluyen los de Horton, Soil Conservation Service of USA y el de Green y Ampt.

Debido a que el área de la cuenca es relativamente un poco menor a las 80 hectáreas no es posible utilizar el método racional, por lo cual se seleccionó entonces el método desarrollado por el entonces Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (U.S. Soil Conservation Service, SCS) conocido actualmente como el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos (U.S. Natural Resources Conservation Service -NRCS); que permite determinar la precipitación efectiva producida por un evento de lluvia, para este proyecto se tomó como análisis el valor de 90 mm, el cual fue estimado a partir

de la curva IDF para un periodo de 25 años y un tiempo de concentración de 15 min. El método asigna un número de curva (CN) característico de cada tipo de suelo de la cuenca, dependiendo de sus características de permeabilidad, para los suelos encontrados en el área de drenaje de la cuenca se tienen los siguientes números de curva

En la siguiente tabla 5 se pueden observar la asignación del número de curva (CN), en función de la superficie de las áreas analizadas en el proyecto.

Tabla 5 Numero de curva zona del proyecto

Descripción	CN
Zona Urbana Cubiertas	98
Zona – Vía secundaria	52
Zona protegida	60

Fuente: Consultor

Se seleccionó el evento del día 18 de Noviembre de 2016 que registro en la estación una precipitación de 150 mm, la más alta del periodo analizado para el cálculo del número de curva (CN).

Este método es propuesto mediante un criterio para determinar obstrucciones (cantidad de agua lluvia que no se convierte en escorrentía) y la precipitación efectiva en función de la precipitación total, el uso del suelo, el método de los cultivos, pendiente y estado de humedad inicial por lo cual se recomienda revisar los datos de precipitación 5 días antes al evento de análisis ver tabla 6, así como la época en la cual se encuentra el análisis (Verano o Invierno) para realizar las respectivas correcciones.

Tabla 6 Precipitaciones 13 -18 noviembre de 2016

Fecha	Precipitación mm
12/11/2016 0:00	0
13/11/2016 0:00	0
14/11/2016 0:00	60
15/11/2016 0:00	0
16/11/2016 0:00	0
17/11/2016 0:00	4

Fuente: IDEAM

Debido a que la sumatoria de la precipitación de los cinco días anteriores al evento es un valor mayor a 28 mm se procede a realizar la corrección del valor CN_{III}.

En la tabla 7 se puede observar los resultados del ajuste del número de curva para la cuenca existente.

Tabla 7. Numero de Curva _ Corrección por humedad sector_ Precipitación efectiva – zona de estudio

SUB CUENCA	Descripción	Área (Ha)	% Área	CN (II)	%Área*CN(II)	CN (II)	CN (III) _ Corrección	Precipitación (cm)	Pe	C
1	Ladera Protegidas	0	0,00	60	0	57	75,09	15	8,15	0,54
2	Ladera No Protegidas	10,5	0,90	52	47					
3	Vias y Cubiertas	1,2	0,10	98	10					

Fuente: Consultor

3.5 Intensidad de precipitación

Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo método desarrollado por el entonces Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (U.S. Soil Conservation Service, SCS) actualmente conocido como el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos (U.S. Natural Resources Conservation Service -NRCS), la intensidad tomada como referencia de análisis como se ha expresado en apartes anteriores es la del evento del día 18 de noviembre de 2016 el cual corresponde a una valor de 150 mm; siendo este el máximo valor registrado en la estación Dorada La en la venta de observación de 24 años, sin embargo se tomara como referencia un valor de 120 mm el cual corresponde al valor dentro de la curva IDF para un tiempo de concentración de 15 min en un periodo de 25 años.

3.6 Calculo de Hidrograma Sector de estudio _ Plaza de Ferias – San Martin

3.6.1 Escorrentía de la zona de estudio

Para el cálculo del Hidrograma del área de estudio (Drenaje Semipermanente), se utilizó datos de entrada como fueron distancia del cauce principal, pendiente, área

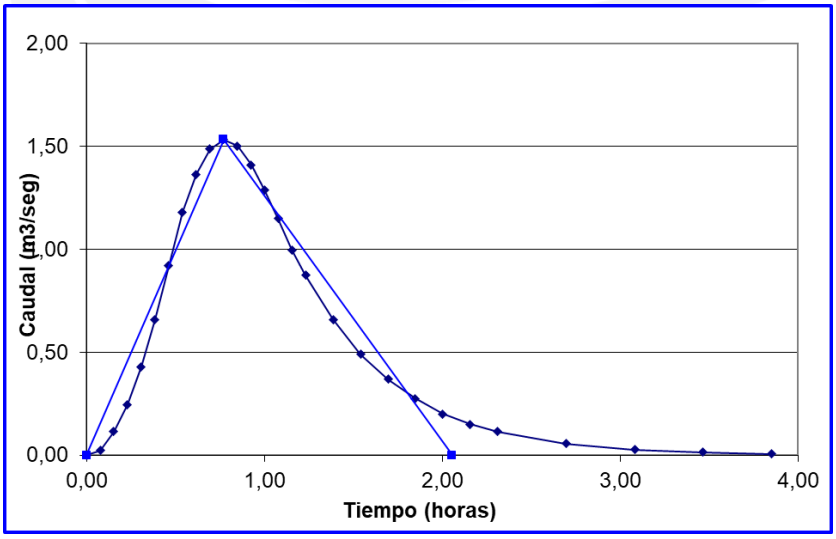
aferente y cotas de puntos de la cuenca, de igual forma como datos de entrada fue necesario el tiempo estimado de duración del evento analizado, así como el valor de la precipitación efectiva. Los datos de salida para la construcción del Hidrograma fueron tiempo de concentración, tiempo de punta, tiempo de base y caudal de punta, en la siguiente figura se pueden observar los cálculos realizados. En la figura 14 se puede ver el Hidrograma para las calles de estudio es de resaltar que estas vías son las presentan mayor área aferente.

Figura 14 Cálculos para la construcción del Hidrograma zona de estudio

Datos de entrada			**Cálculos**		
Long cauce=	1715,44	ft	Pendiente=	0,0153	m/m
Cota max=	334,56	ft	*(Fórmula tiempo conc. de la norma 5.2-IC)*		
Cota min=	308,32	ft	t conc=	0,20	Horas
Superficie=	0,1	km2	tiempo punta=	**0,77**	horas
Precipitación=	56,77	mm	tiempo base=	2,06	horas
Duración P neta=	1,3	horas	Caudal de la punta=	**1,53**	m^3/seg.
Pe	5,68	cm			
Nc(III)	75,09				
Preci evento=	12	cm			

Fuente: Consultor

Figura 15. Hidrograma Triangular ajustado Zona de estudio



Fuente: Consultor

3.7 Caudal de diseño – Método Racional – Box Coulvert existente

La expresión que permite estimar el caudal de escorrentía es:

$$Q = (2.78 * C * I * A) / 1000$$

Con la información obtenida de los cálculos anteriores correspondiente a C = 0.54, I = 120 mm/h y Área para cada uno de los proyectos; se obtiene el valor de Q para cada tramo de estudio, del cual se puede establecer que es relativamente bajo y que el mismo no generaría afectaciones o impactos considerables a la zona del proyecto, el valor de la intensidad fue estimado a partir de un Tc de 15.00 min a un periodo de 25 años, utilizando la curva IDF de Gumbel, el método racional fue utilizado ya que el área de cada tramo cumple con lo mínimo establecido para su uso. En la tabla 8 se encuentra el consolidado del caudal para el área de estudio.

Tabla 8. Caudales de diseño para cada sector de estudio

Localización	Coeficiente de escorrentía	Intensidad (mm/h)	área (ha)	Caudal (m^3/s)
Vía Universidad del Catatumbo	0.54	120	10.5	1.89

Fuente: Consultor.

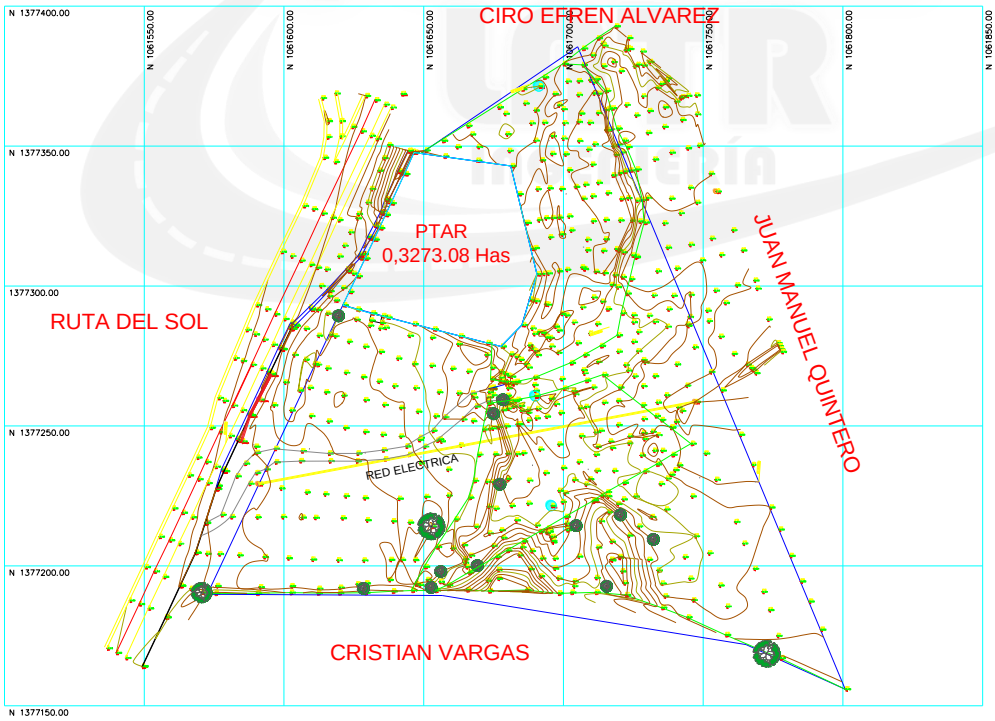
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de obtener los caudales que las áreas aferentes del proyecto de pavimentación, se procede a realizar el cálculo de la capacidad hidráulica y determinación de la cota máxima de la escorrentía superficial ante un fenómeno con un periodo de 25 años.

4.1 Topografía del área de estudio:

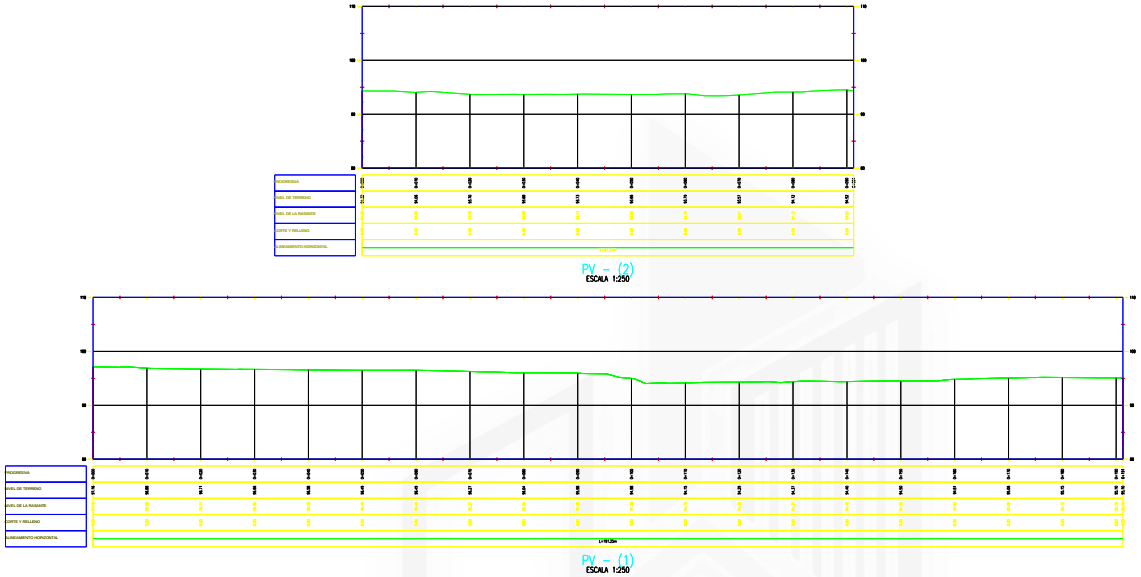
Se realizó un levantamiento topográfico con estación total, con el cual se realizó el respectivo proceso de puntos y la creación del modelo digital del terreno, ver figura 16, este tuvo como objetivo identificar las secciones transversales y perfiles longitudinales, tomando como referencia la ubicación del proyecto en el municipio de San Martin Cesar en las figuras 17 y 18 se pueden observar la planta y sección longitudinal del proyecto.

Figura 16. Vista en Planta de la topografía del área del Proyecto



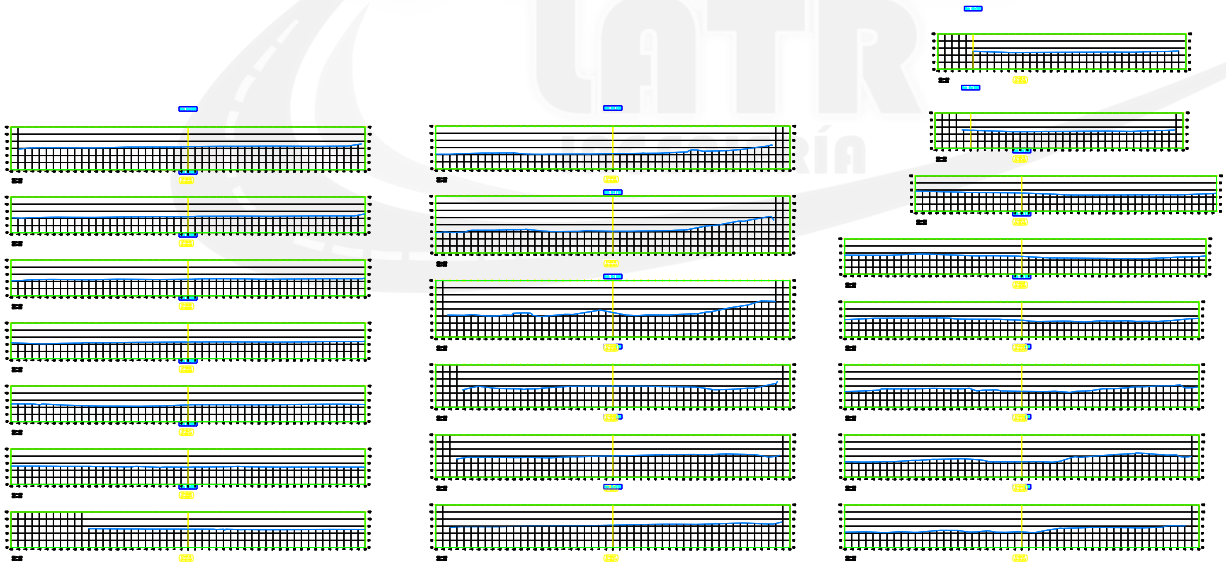
Fuente: Topógrafo – Consultor

Figura 17 Perfil Longitudinal del Proyecto



Fuente: Topógrafo – Consultor

Figura 18 Secciones transversal tipo del proyecto



Fuente: Topógrafo – Consultor

4.2 Identificación de variables

Durante la visita técnica se logró identificar obras que permiten la captación y transporte de la escorrentía superficial en cada uno de los puntos críticos del proyecto, las cual realizan su recorrido por los sectores de estudio.

En la imagen 19 se puede observar la ubicación de forma general del proyecto, en donde se puede observar la colindancia con una PTAR, una EDS y la vía nacional Aguachica – San Martin – Bucaramanga.

Figura 19. Localización del proyecto de forma general



Fuente: Consultor

En la imagen 20 se puede observar la ubicación de la PTAR sobre la franja de la vía nacional.

Figura 20. Localización de obras existente PTAR



Fuente: Consultor

En la imagen 21 se puede observar la ubicación de un box coulvert sobre la cual se realiza la descarga de la escorrentía del área del proyecto.

Figura 21. Localización de un Box Coulvert Sobre la vía nacional



Fuente: Consultor

5 DISEÑO HIDRÁULICO

5.1. Diseño hidráulico de Obras

A partir de los parámetros establecidos por ministerio de desarrollo económico, documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico procedemos a identificar el nivel de complejidad del sistema teniendo en cuenta la población del sector donde se va a realizar el proyecto y la capacidad socioeconómica de la comunidad atendida el diseño de la estructura de captación y transporte de agua de escorrentía de agua lluvia del proyecto “Plaza de Ferias – San Martin Cesar"; según el último CENSO de Población y vivienda, realizado por el DANE, durante el año 2018 la población era de 26674 habitantes según la resolución 1096 de 2000 l nivel de complejidad para el diseño es Medio Alto

Tabla 9 Nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (1) (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios (2)
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: RESOLUCION 1096 DE 2000

5.1.1. Periodo de retorno

Se define como periodo de retorno de eventos hidrológicos máximos en obras de drenaje, el tiempo promedio expresado en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez. El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico vehicular, el comercio, la industria, etc.

La lluvia de diseño con la que se realizó la modelación hidráulica de las obras es la máxima presentada en la serie de datos almacenada por la estación pluviométrica *Dorada La* del IDEAM durante los últimos 24 años, periodo 2000 – 2024.

5.1.2. Coeficiente De Rugosidad

La rugosidad de las paredes de las cunetas (Concreto) y tuberías (PVC) es función del material con que están construidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso. Los valores son determinados en mediciones tanto de laboratorio como en el campo. Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS se debe utilizar la ecuación de Manning, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning debe ser escogido apropiadamente, teniendo en cuenta los materiales que componen el perímetro mojado y el tipo de sedimentos que pueden ser transportados por la estructura Canal (Concreto) el RAS propone los siguientes coeficientes de rugosidad de Manning.

Tabla 10 Coeficiente de Manning RAS

Naturaleza del recubrimiento del canal		n de Manning[10] (s/m1/3)
Canales revestidos	Asfalto	0,013 – 0,017
	Mampostería o bloques	0,012 – 0,018
	Concreto	0,011 – 0,020
	Empedrado o cubierto de escombros	0,020 – 0,035
	Cubierta vegetal	0,030 – 0,400
Canales excavados sin revestir	Cubierta de tierra, alineamiento recto y uniforme	0,020 – 0,030
	Cubierta de tierra, alineamiento curvo y uniforme	0,025 – 0,040
	Excavado en roca	0,030 – 0,045
	Canales excavados sin mantenimiento	0,050 – 0,140
Canales naturales (menores de 30 m de longitud)	Sección bastante regular	0,030 – 0,070
	Sección irregular con algunos encharcamientos	0,040 – 0,100

Fuente: RAS

Para el caso en estudio se adopta un valor de 0.015 teniendo en cuenta que se proyecta el revestimiento de las cunetas en concreto y el desgaste de este para su vida útil.

5.1.3. Pendiente de las obras Hidráulicas

La pendiente de una recta es el grado de inclinación que se registra en una recta. Así, la pendiente S del fondo se expresa en forma de metros de altura por metro de longitud, siguiendo las recomendaciones se proyecta una estructura rectangular, que funciona como un sistema de gravedad, ajustando las cotas de fondo, pendientes y secciones respectivas. Teniendo en cuenta las consideraciones se plantea una pendiente mínima de acuerdo con la topografía natural del terreno de m/m entre las abscisas de la proyección de las respectivas obras.

5.1.4 Alineación

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS las curvas horizontales deben diseñarse teniendo en cuenta las consideraciones apropiadas de peralte, con las justificaciones para cada caso.

Para definir la alineación de la estructura (Obras Hidráulicas) en el caso de estudio se tuvo en cuenta el levantamiento topográfico realizado y un reconocimiento del terreno, en el tramo de optimización se respetó el alineamiento existente.

5.1.5. Borde libre.

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS Siempre deben hacerse las previsiones apropiadas de borde libre. El borde libre de las cuentas de diseño con revestimiento es el borde máximo para evitar el desbordamiento del flujo en las cunetas, este varía de acuerdo con la velocidad del flujo, la rugosidad del material de revestimiento y el ángulo convexo de las curvas presentes en el mismo Según castellanos (2017) se recomienda que el borde libre sea el 30% del Y Crítico, obteniendo así la siguiente sección hidráulica.

5.2. Capacidad hidráulica de las vías aledañas al proyecto

Para el cálculo de la capacidad hidráulica del drenaje se utilizará la ecuación de Manning, para el cual se usan variables como área de la sección, perímetro mojado de la sección, radio hidráulico, pendiente de la cuenca de descarga y coeficiente de rugosidad de la zona de análisis. El proyecto de pavimentación del de las vías

aledañas al proyecto se recomienda ser ejecutado a partir de losas en concreto rígido con un ancho (Según el proyecto de 6.0 m), con escorrentía a dos (2) aguas y bombeo del 2%, se recomienda incluir bordillos de 0.20 m de alto para mejorar la capacidad hidráulica de las vías y de esta forma optimizar el transporte y evitar desbordamiento que puedan incurrir en afectaciones a los inmuebles de los diferentes sectores.

En la tabla 11 se puede ver los respectivos cálculos de la capacidad hidráulica

Tabla 11. Capacidad Hidráulica de las vías del proyecto

ECUACION DE MANING
$Q = (1/N)*A* RH^{2/3} * S^{1/2}$

Area seccion (m^2)	0,6
Perimetro de la seccion (m)	6,400
Radio Hidraulico = A/P (m)	0,094
Pendiente (%)	1
n Maning Concreto	0,015
CAUDAL DE DISEÑO (m^3/s)	0,83

Fuente: Consultor

Como se evidenciar en los cálculos la capacidad hidráulica de la zona de estudio es inferior al caudal del evento con un periodo de 25 años, pues la capacidad hidráulica es de 0.83 m^3 y el caudal del afluente es de 1.89 m^3; con lo cual se puede ratificar que se requiere estructuras que permitan la captación y transporte seguro de la escorrentía del área de estudio a través de la construcción de un sistema de alcantarillado pluvial alimentado con rejillas longitudinales en puntos estratégicos, el sistema tendrá como zona de descarga un Box - Coulvert sobre la vía nacional Aguachica - San Martin – Bucaramanga.

5.1 Diseño sumidero

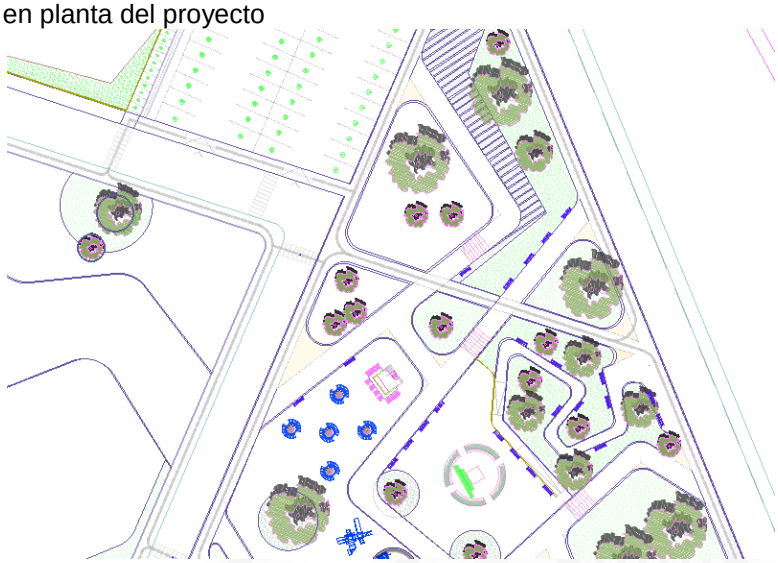
Estas estructuras tienen la función de captar la escorrentía superficial caída sobre las vías, para posteriormente ser conducida hacia el sistema de alcantarillado, con el fin de mantener una inundación mínima en las vías, para prevenir inundaciones que puedan generar inseguridad tanto para los conductores como los peatones de la zona; la capacidad hidráulica de este tipo de estructuras depende en gran parte de su geometría y de las características correspondientes al flujo de la cuneta.

5.2.1 Sumidero Rejilla

Consiste en una abertura en la canaleta o zanja cubierta por una rejilla, se desempeña satisfactoriamente en una amplia gama de grados de canalones; Las entradas de rejilla generalmente pierden capacidad con el aumento de la pendiente, pero en menor grado que las entradas de apertura de la acera. La principal ventaja de las entradas de rejilla es que están instaladas a lo largo de la carretera donde fluye el agua, por lo que se facilita su entrada, pero así mismo pueden obstruirse por basura flotante o escombros (FHWA, 2013).

- **Geometría de la Vía:** Se tiene una vía en concreto rígido de dos carriles de 4.5 m de ancho y un ancho de andén variable, dicha vía cuenta con una pendiente longitudinal de 1.0 % y un bombeo de 2%.

Figura 22.. Vista en planta del proyecto



Fuente: Consultor

- **Ancho mojado (T):** El ancho de inundación de la vía se determina mediante la siguiente expresión:

Ecuación – Ancho Mojado (T)

$$T = \left(\frac{Q * n}{K_u * S_x^{1.67} * S_L^{0.5}}\right)^{0.375}$$

Para el caso específico del proyecto, municipio de San Martin Cesar.

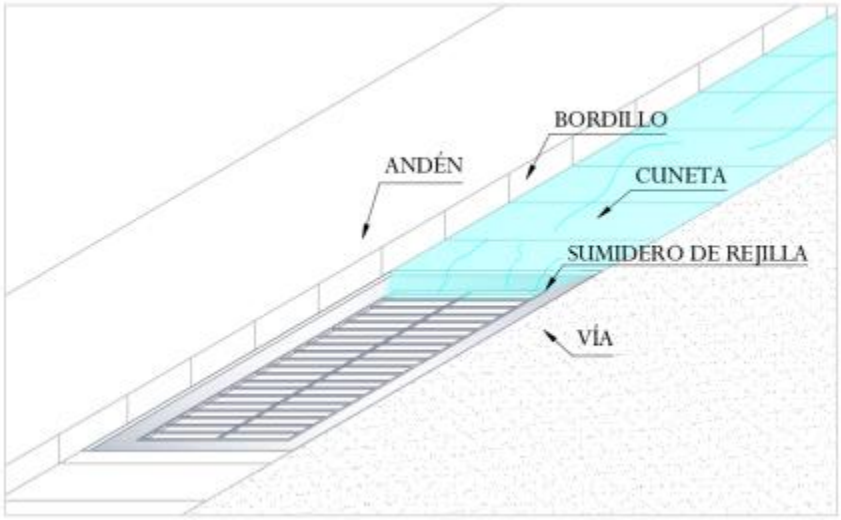
$$T = \left(\frac{0.41 * 0.015}{0.375 * 0.024^{1.67} * 0.02^{0.5}}\right)^{0.375} = 4.60m$$

- **Profundidad del agua (y)**: La profundidad del flujo del agua junto al andén de calcula con la siguiente expresión:

$$Y_1 = TS_X$$

Y_1= 4.60*0.02=0.09m

Figura 23.. Vista general - Sumidero de Rejilla

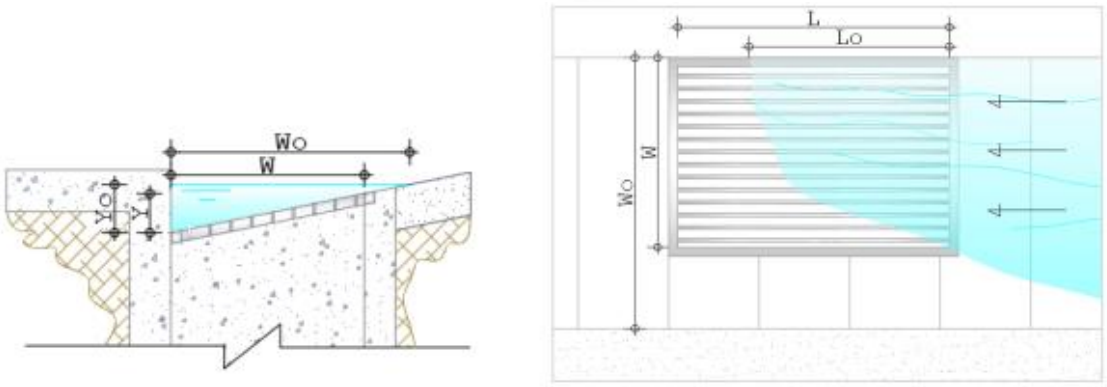


Fuente: EPM 2017

- **Cálculo de Longitud – Metodología Wen-Hsioung-Li**: Estudios realizados por el Prof. Wen-Hsiung-Li, para sumideros de rejilla sin depresión de la universidad Johns Hopkins, Baltimore, U.S.A, indicaron para el cálculo de las dimensiones del sumidero, la siguiente ecuación, teniendo en cuenta las variables mostradas en la Figura 42.

$$L = 0{,}326 * \left(\frac{z}{n} * I^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{Q_o^{\frac{1}{2}} * (w_o - w)}{z}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Figura 24.. Sumidero de Rejilla Tipo



Fuente: (Norma Boliviana, 2007)

L= Longitud total de la reja, (m).

Z= Inverso de la pendiente transversal (-).

I= pendiente longitudinal, en (m/m).

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

Qo= Caudal de proyecto, en (m^3 /s).

Wo= Ancho del espejo de agua en la cuneta (m).

W= Ancho horizontal de la reja (m).

$$L: 0.326 * \left(\frac{50}{0.015} * 0.010^{0.5}\right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0.41^{0.5} * (3.50 - 0.8)}{50}\right)^{0.5} : 3.90\ m$$

Figura 25.. Vista en planta de sumidero

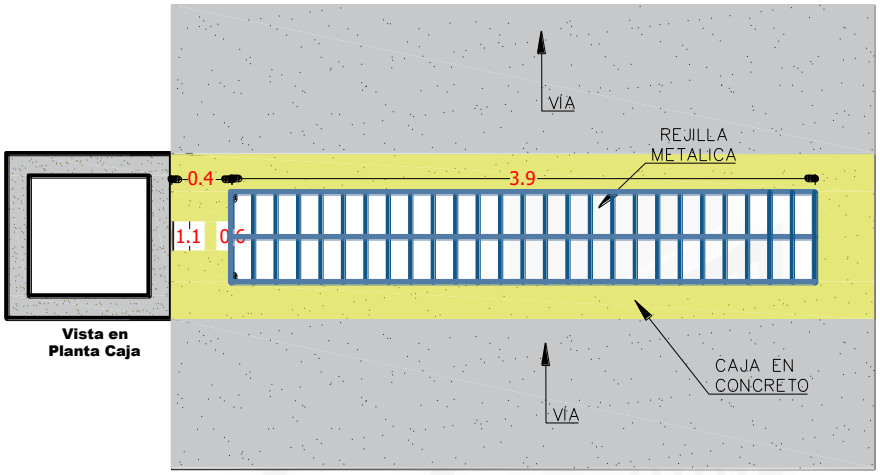


Figura 26.. Sección Longitudinal de sumidero Corte A-A`

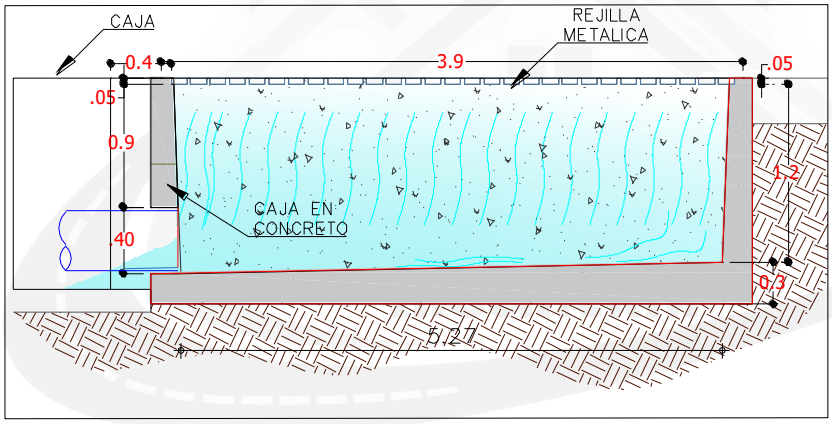
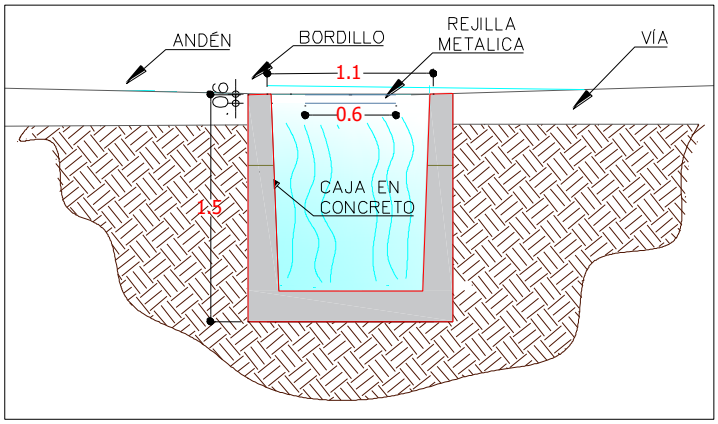
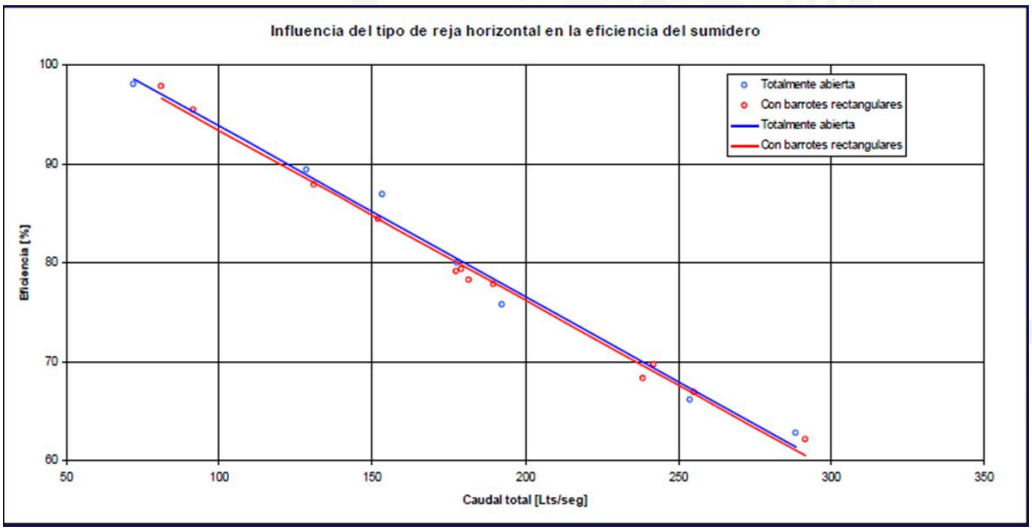


Figura 27. Sección Transversal del sumidero Corte B-B`



- **Eficiencia de la rejilla del sumidero:** Las variables que influyen en la eficiencia de un sumidero pueden ir desde condiciones constructivas como la forma de los barrotes hasta condiciones de mantenimiento (presencia de material vegetal o sedimentos), para el análisis de las condiciones del proyecto en el barrio Santa Ana solo se consideraron la primera, bajo la premisa que la comunidad y los entes locales realizaran mantenimientos preventivos en épocas de verano. En la figura 47 se puede estimar la eficiencia en función del caudal del proyecto.

Figura 28. Eficiencia de rejilla del sumidero.



Fuente: Mario A. Chirichigno - Adelma M. Mancinelli - Raul A. Navarro _ Universidad Nacional del Rosario

En la figura 28 se puede observar que para condiciones normales donde el caudal no supere los 200 l/s el sumidero contara con una eficiencia entre el 60% y 70%, sin embargo, cuando los caudales superen los 300 l/s el cual es el caso específico del proyecto la eficiencia bajara a un rango entre el 50% y 60%, ahora bien, es de reconocer que este caudal es de diseño para un evento extremo con características especiales y de esta magnitud.

5.3. Sistema de Alcantarillado Pluvial

5.3.1. Áreas del Proyecto

			AREA		TRAMO		RASANTE			
MANZANA	B (m)	L (m)	METROS	HECTAREAS	POZO INICIAL	POZO FINAL	COTA INICIAL	COTA FINAL	PROFUNDIDAD POZO INCIAL	PROFUNDIDAD POZO FINAL
1	0	73,62	0	0	1	2	97	96,9	2	2,35
2	0	63,52	0	0	2	3	96,9	96,8	2,4	2,75
3	0	72,53	0	0	3	4	96,8	96,7	2,8	3,35

FONDO POZO			CALLE						ZONAS VERDES
COTA INICIAL	COTA FINAL	PENDIENTE ENTRE POZOS	LONGITUD	ANCHO	PENDIENTE	LONGITUD PARA AREAS	AREA (M2)	AREA (Ha)	AREA (Ha)
95	94,55	0,611%	73,62	6	0,136%	73,62	441,72	0,044	2
94,5	94,05	0,708%	63,52	6	0,157%	63,52	381,12	0,038	2
94	93,35	0,896%	72,53	6	0,138%	72,53	435,18	0,044	2

5.3.2. Escorrentía del área de estudio

MANZANA	TRAMOS		AREAS (Ha) PROPIAS					
	POZO INICIAL	POZO FINAL	CUBIERTAS	CALLES	ZONA VERDE	AREA TOTAL PARCIAL	AREAS CONTRIBUYENTES	AREA TOTAL
1	1	2	0	0,044	2	2,044	0	2,044
2	2	3	0	0,038	2	2,038	2,044	4,082
1	3	4	0	0,044	2	2,044	4,082	6,126

COEFICIENTES				TIEMPOS						DISEÑO		
CUBIERTAS	CALLES	ZONA VERDE	C	Te estimado (min)	Te (min)	Tt (min)	Tt (min)	Tt (min)	Tc	INTENSIDAD (mm/seg)	AREA	CAUDAL (lt/seg)
0,95	0,95	0,6	0,61	8,20	10,00	0,00	0,00	0,00	10,00	106,85	2,04	368,92
0,95	0,95	0,6	0,61	7,25	10,00	0,00	0,00	0,00	10,00	106,85	4,08	735,50
0,95	0,95	0,6	0,61	8,10	10,00	0,00	0,00	0,00	10,00	106,85	6,13	1105,34

5.3.3. Diseño del sistema de alcantarillado Pluvial

TRAMO		CAUDAL DE DISEÑO	PENDIENTE	DIAMETRO SOLICITADO								
POZO INICIAL	POZO FINAL			METROS	PULGADAS	COMERCIAL	CAUDAL TUBO LLENO	Qdis/Qo	V/Vo	d/D	R/Ro	H/D
1	2	368,9155813	0,61%	0,47347155	18,6406	24	0,724114077	0,51	0,855	0,570	1,087	0,465
2	3	735,5028451	0,71%	0,5965535	23,4864	30	1,413436668	0,52	0,860	0,576	1,094	0,472
3	4	1105,335639	0,90%	0,66504039	26,1827	30	1,589729309	0,70	0,945	0,692	1,175	0,623

		CHEQUEOS							
VELOCIDAD TUBO LLENO	RADIO HIDRAULICO	VELOCIDAD REAL		FUERZA TRACTIVA		N° FROUDE		Yn	
2,4810	0,1524	2,12125709	1	10,3303856	1	1,27206659	1	0,347472	1
3,0994	0,1905	2,66547725	1	15,0625897	1	1,41903136	1	0,438912	1
3,4860	0,1905	3,29423946	1	20,4650988	1	1,52650824	1	0,527304	1

LIBARDO AUGUSTO TRIGOS RAMIREZ
ING CIVIL MsC EN CONSTRUCCION

Dirección: Calle 13 # 16a-64 La Popa Ocaña N de S
Celular 316748796

CONCLUSIONES

La zona de estudio corresponde al área donde se proyecta la construcción de la plaza de ferias del municipio de San Martin Cesar, así como de mejorar los accesos a dichas áreas del proyecto, con el objeto de mejorar las condiciones de las comunidades de estos sectores.

La capacidad hidráulica de las vías proyectadas es inferior al caudal del evento para un periodo de retorno de 25 años, lo cual deja en evidencia que bajo las condiciones normales el tránsito de escorrentía puede no puede ser evacuada de una forma segura, por lo cual se proyecta la construcción de tres (3) estructuras de tipo sumidero de rejilla horizontal localizados en puntos estratégicos, con el objeto de captar la escorrentía superficial del área del proyecto, estas estructuras serán conectadas con un sistema de alcantarillado pluvial con diámetros de tubería entre los 24” y 36”, permitiendo de esta forma el transporte de forma segura y la descarga en el Box Coulvert localizado sobre la vía nacional así mismo se requiere de un control y mantenimiento de estructuras existentes, de igual forma se deber realizar una supervisión de los cortes en la zona alta de cuenca los cuales generan aumento en el tránsito de sedimentos que pueden generar una perdida hidráulica en el sistema. El comportamiento de las estructuras hidráulicas es función tanto de la calidad de cada uno de los materiales empleados en la construcción, como del sistema constructivo, así como de la metodología de diseño empleada. El análisis fue revisado bajo condiciones de flujo No permanente, cálculo de caudal por el método Hidrograma Triangular, coeficiente de escorrentía del SCS y Tiempo de concentración por la ecuación de Kirpich.

Se evidencian procesos morfodinámicos activos representados por la de erosión concentrada en surcos y cárcavas o debida a la pérdida de cobertura vegetal en cada uno de los sectores de estudio, producto de la entrega de forma directa de la escorrentía sobre las áreas de estudio.

LIBARDO AUGUSTO TRIGOS RAMIREZ
ING CIVIL MsC EN CONSTRUCCION

Dirección: Calle 13 # 16a-64 La Popa Ocaña N de S
Celular 316748796

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones del presente estudio están basadas en datos almacenados por el IDEAM, levantamiento topográfico e información de campo sobre coberturas de suelo. Cualquier cambio con relación a lo aquí consignado, o circunstancia no prevista que se encuentre durante la etapa de diseño del proyecto e implementación de este, deberá ser informado oportunamente para introducir las modificaciones, o dar las recomendaciones adicionales que se ameriten según el caso.

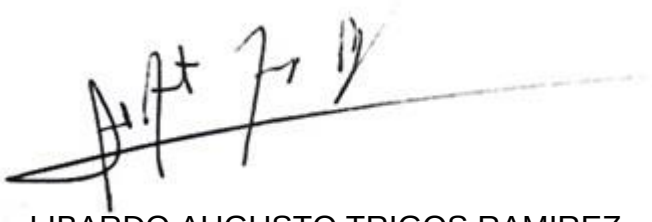
Se recomienda hacer monitoreo constante en las zonas altas y bajas de la cuenca y estar atentos a cualquier variación del caudal que pudiera relacionarse con un represamiento de esta, se recomienda tomar acciones que eviten la perdida de cobertura natural en el área de influencia de la cuenca pues el deterioro de esta disminuye la capacidad de infiltración del terreno y por lo tanto el agua lluvia escurrida será mayor generando caudales más altos.

Se recomienda a la administración municipal, que luego de ejecutada la obra, en forma periódica se les haga mantenimiento y limpieza a las obras hidráulicas aledañas a la zona del proyecto, así como a las cunetas y obras de arte que están contempladas dentro la zona de influencia de este. Esto con el fin de garantizar la adecuada funcionalidad de los elementos constituyentes de la obra y la evacuación rápida y oportuna de precipitaciones altas que en determinado puedan presentarse en el municipio.

Realizar mantenimiento preventivo y correctivo de las obras de captación y transporte de la escorrentía, limpieza de sedimentos, de igual forma se recomienda realizar un seguimiento rutinario a las obras existentes aguas arriba, especialmente a los volúmenes de sedimentos retenidos, lo cual cambiaría las condiciones naturales.

Se debe implementar un programa de recuperación de cobertura vegetal mediante siembra de pasto (Nativo en el área de estudio) para la impermeabilización de las áreas de trabajo, por ejemplo, maní forrajero, pasto estrella, brachiaria entre otras

que se dan en el medio además de proteger las zonas aledañas especialmente las márgenes derecha e izquierda y aplicar medidas de control de erosión, lo anterior permitirá evitar el arrastre de sedimentos hacia los sectores aledaños y la erosión hídrica moderada que se presenta en la actualidad en la parte media y alta de la cuenca.



LIBARDO AUGUSTO TRIGOS RAMIREZ
Ingeniero civil
MsC en Construcciones
T.P. 54202-2141500 NTS