ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO



JULIO DE 2021

CONTROL DE REVISIONES		
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1	(JUNIO -2021)	

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:
ANA VANESSA NISPERUZA ESPITIA	LAURA MARTÍNEZ MORALES	JAMILTON ECHEVERRI DIAZ
		
INGENIERO CIVIL. M.P. 22202-384098 COR	INGENIERO SANITARIA Y AMBIENTAL M.P. 22236-345950 COR	INGENIERO CIVIL. ESP. M.P. 22202-269762 COR

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO 11

2. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA 13

2.1. Localización del proyecto 13

2.2. Topografía 13

2.3. Clima y Temperatura. 14

2.4. Hidrografía 14

3. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO 15

3.1. Identificación y delimitación de las áreas aportante de la vía 15

3.1. Identificación y delimitación del área de la cuenca 15

3.2. Longitud del cauce principal y delimitación de subcuencas 17

3.3. Jerarquización de la red fluvial 18

3.4. Presentación de los parámetros morfométricos para la subcuenca 18

3.5. Cálculo de parámetro morfométricos para la via 20

4. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO 21

4.1. Estaciones meteorológicas 22

4.2. Datos de precipitación de las estaciones de estudio 23

4.3. Análisis de frecuencia de precipitaciones para la estación más cercana 26

4.4. Periodo de retorno de estudio 28

4.5. Cálculo de la precipitación media por el método de Isoyetas 29

4.6. Elaboración de curvas IDF 31

4.7. Tormenta de diseño 32

4.8. Hietograma de diseño 35

5. INVENTARIO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES....41
5.1. Valoración física de estructuras existentes 41
5.2. Valoración hidráulica de estructuras existentes 41
5.3. Valoración espacial y geométrica de las estructuras existentes 42
5.4. Resumen análisis de estructuras existentes....42
6. PARÁMETROS PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES 43
6.1. Coeficiente de escorrentía 43
6.2. Periodo de retorno 45
6.3. Numero de Curva 45
6.4. Coeficiente de rugosidad 48
6.5. Tiempo de concentración....49
7. ESTIMACIÓN DE CAUDALES....51
7.1. Estimación del caudal por el modelo de infiltración SCS (NRCS)....52
7.2. Estimación del caudal con HEC-HMS usando el modelo del SCS (NRCS) 53
7.3. Selección del caudal de escorrentía 55
9. ANÁLISIS, DIMENSIONAMIENTO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA....62
9.1. Variables fundamentales para el análisis hidráulico 62
9.2. Modelación hidráulica de estructuras diseñadas 64
9.2.1. Parámetros de entrada para chequeo hidráulico de estructuras diseñadas. 64
9.2.2. Análisis hidráulico de estructuras hidráulicas diseñadas. 65
9.3. Dimensionamiento hidráulico cárcamo 69
10. VALORACIÓN DE LA LONGITUD VIAL EN FUNCIÓN DE LAS CURVAS IPL 70
11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 72

11.1. Valoración de la longitud de la vía en función de las curvas IPL 72

11.2. Análisis de Sensibilidad de Box Culverts en HY8.....74

11.2.1. Parámetros de entrada para chequeo hidráulico de estructuras diseñadas. 74

11.2.2. Resultados de sensibilidad para las estructuras hidráulicas.....75

12. OBRAS HIDRÁULICAS A CONSTRUIR 78

12.1. Localización de estructuras hidráulicas tipo alivios (bordillos perforados) 78

12.2. Localización de estructuras de drenaje complementarias tipo cárcamos.....79

12.3. Localización de estructuras hidráulicas y detalles constructivos 79

13. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES 81

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización general del proyecto de estudio 13

Ilustración 2 Parámetros climáticos promedio.....14

Ilustración 3 Delimitación de áreas aferentes de la vía.....15

Ilustración 4 Identificación de la localización del puente en el DEM.....16

Ilustración 5 TIN con curvas de nivel de la cuenca 16

Ilustración 6 Identificación de Zonas inundables 17

Ilustración 7 Definición de la longitud del cauce principal y la longitud axial de la cuenca. 17

Ilustración 8 Clasificación del número de orden de la red 18

Ilustración 9 Definición del orden de la red hídrica de la cuenca hidrográfica 18

Ilustración 10 Drenaje de la cuenca hidrográfica 19

Ilustración 11 Areas aferentes de las subcuencas para el análisis de las estructuras. 20

Ilustración 12 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.....23

Ilustración 13 Mapa Isoyetal asociado a la P Media general en 24 horas 30

Ilustración 14 Selección de precipitación media para el área del proyecto.....30

Ilustración 15 Esquema de un hidrógrama de crecida 33

Ilustración 16. Localización de estructuras hidráulicas existente. 43

Ilustración 17 Grupo hidrológico del suelo según el SCS, RAS.....45

Ilustración 18 Grupo hidrológico del suelo según el SCS. G. Monsalve 46

Ilustración 19 Identificación de suelos superpuestos en la cuenca de las vías del municipio de cerete 47

Ilustración 20 Disposición de áreas de drenaje proyectadas en HEC-HMS de la vía 54

Ilustración 21 Hidrogramas de crecida TR 5 Años para el área A1-3.....54

Ilustración 22 Drenaje de las subcuencas en HEC-HMS.....60

Ilustración 23 Hidrogramas de flujo TR 20 Años para el cauce 2. 60

Ilustración 24 Hidrógrama de crecida TR 20 Años para la subcuenca 2 61

Ilustración 25. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+211.12 TR 20 años. ...67

Ilustración 26. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+442.284 y K1+448.00 TR 20 años. 67

Ilustración 27. Secciones tipo para control de flujo. 68

Ilustración 28 Sección transversal típica con variables para el cálculo las Curvas IPL - Ancho de Impluvium (B) 70

Ilustración 29. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+211.12 TR 50 años. ...77

Ilustración 30. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+442.284 TR 50 años. .77

Ilustración 31. Box Culvert vista en planta. 80

Ilustración 32. Box Culvert vista frontal. 80

Ilustración 33. Localización de estructuras hidráulicas a construir. 81

GRAFICAS

Grafica 1 Modelo de línea de tendencia y modelo de ajuste por el método de Gumbel.....27

Grafica 2 Curvas IDF (Intensidad – Duración y Frecuencia) 32

Grafica 3 Calculo del tiempo de duración de la lluvia 35

Grafica 4 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 5 Años 39

Grafica 5 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 20 Años 39

Grafica 6 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 25 Años 40

Grafica 7 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 50 Años 40

Grafica 8 Curvas (IPL) intensidad – pendiente vía – longitud vial. 71

Grafica 9 Curvas (IPL) intensidad – pendiente – longitud vial TR 25 Años 73

TABLAS

Tabla 1 parámetros morfométricos de las subcuencas parte 1 19
Tabla 2 parámetros morfométricos de las subcuencas parte 2 19
Tabla 3 características de los causes.....19
Tabla 4 Parámetros morfométricos parte 1 de la vía 20
Tabla 5 Parámetros morfométricos parte 2 de la vía 21
Tabla 6 Valores interpretativos de la densidad de drenaje.....21
Tabla 7 Característica cualitativa de una cuenca de acuerdo con su pendiente.....21
Tabla 8 Valores interpretativos del factor forma 21
Tabla 9 Estaciones pluviométricas seleccionadas del área de estudio 23
Tabla 10 Precipitaciones Máxima 24 Horas 25
Tabla 11 Precipitaciones Media en 24 horas 26
Tabla 12 Ecuaciones de ajuste y cálculo de P max 24 horas para diferentes periodos de retorno.....26
Tabla 13 Valores necesarios para el análisis de frecuencia de lluvias por el método de Gumbel 27
Tabla 14 Distribución Gumbel valores de Yn y Sn 27
Tabla 15 Periodo de retorno asociado a la Pmax histórica en 24 horas 28
Tabla 16 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema 29
Tabla 17 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema 29
Tabla 18 Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe 31
Tabla 19 Estación meteorológica de referencia minutal 33
Tabla 20 Estación meteorológica de referencia minutal (Probabilidad de excedencia) 34
Tabla 21 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 5 Años 36
Tabla 22 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 20 Años 37
Tabla 23 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 25 Años 38
Tabla 24 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 50 Años 38
Tabla 25. Resultado de inventario físico para estructuras existentes. 41
Tabla 26. Análisis hidráulico estructuras existentes. 42
Tabla 27. Análisis espacial estructuras existentes 42
Tabla 28. Resumen análisis estructuras existentes 42
Tabla 29 Valores calculados del coeficiente de escorrentía para la vía 44

Tabla 30 Valores calculados del coeficiente de escorrentía para las cuencas 44
Tabla 31 Valores de coeficiente de escorrentía referencia.....44
Tabla 32 Valores de número de curva referencia 45
Tabla 33 Selección del grupo hidrológico de la cuenca.....47
Tabla 34 Valores de número de curva calculados para la via 48
Tabla 35 Valores de número de curva calculados para las cuencas 48
Tabla 36 Coeficiente de rugosidad de Manning para pavimentos y cunetas.....48
Tabla 37.Valores de coeficiente de rugosidad. 49
Tabla 38 Parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc para la vía 50
Tabla 39 Cálculo del Tiempo de concentración (Tc) y Tiempo de retardo (Tlag) Intensidad de precipitación para la vía 50
Tabla 40 Parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc para las cuencas 50
Tabla 41 Cálculo del Tiempo de concentración (Tc) y Tiempo de retardo (Tlag) para las cuencas .50
Tabla 42 Cálculo de la intensidad de precipitación para la vía 51
Tabla 43 Cálculo de la intensidad de precipitación para las subcuencas 51
Tabla 44 Calculo de caudales por el método racional para las vías 52
Tabla 45 Calculo de caudales por el método racional para las subcuencas.....52
Tabla 46 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para la vía 55
Tabla 47 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para las subcuencas 55
Tabla 48 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 5 años para la vía 55
Tabla 49 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 20 años para la subcuenca 56
Tabla 50 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 25 años para la vía 56
Tabla 51 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 50 años para la subcuenca 56
Tabla 52 Cálculo de parámetros K Muskingum 59
Tabla 53 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para el área A-2 de la subcuenca para el análisis de las estructura.....62
Tabla 54. Valores máximos de velocidades en canales revestidos. 63
Tabla 55. Valores máximos de velocidades en canales naturales. 63
Tabla 56. Parámetros necesarios para análisis en HY-8 de estructuras hidráulicas. 65
Tabla 57. Resultados del análisis hidráulico de la estructura en la abscisa K0+028.00. 66
Tabla 58. Verificación capacidad hidráulica en función de la profundidad. 66

Tabla 59. Verificación velocidad máxima permisible. 66
Tabla 60.Tipo de flujos. 68
Tabla 61. Identificación tipo de flujo estructuras hidráulicas. 69
Tabla 62 Dimensionamiento Hidráulico Cárcamo.....69
Tabla 63 Parámetros generación curvas IPL para la Vía 71
Tabla 64 Valores de Longitud de vía.....72
Tabla 65 Parámetros generación curvas IPL para la Vía TR 25 años 73
Tabla 66 Valores de Longitud de la vía.....74
Tabla 67. Parámetros necesarios para análisis en HY-8. 75
Tabla 68. Resultados del análisis hidráulico de las estructuras hidráulicas. 76
Tabla 69. Verificación capacidad hidráulica en función de la profundidad. 76
Tabla 70. Verificación velocidad máxima permisible. 76
Tabla 71. Identificación tipo de flujo estructuras hidráulicas. 78
Tabla 72 Ubicación de alivios Tipo Vía Martínez - Cerete 79
Tabla 73. Ubicación de cunetas.....79
Tabla 74. Ubicación de estructuras nuevas tipo Box Culvert. 79

ANEXOS

ANEXO 1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

ANEXO 2. ANÁLISIS DE FRECUENCIA POR GUMBEL

ANEXO 3. CURVAS IDF SINTÉTICAS

ANEXO 4. INVENTARIO ESTRUCTURAS EXISTENTES

ANEXO 5. ECUACIONES PARA CÁLCULO DEL TC

ANEXO 6. HIDROGRAMAS DE CRECIDA

ANEXO 7. CURVAS IPL TR 5 AÑOS

ANEXO 8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE CURVAS IPL TR 25 AÑOS

ANEXO 9. CANTIDADES DE OBRA

ANEXO 10. PLANO DETALLES RED PLUVIAL

1. RESUMEN EJECUTIVO

Para el diseño de estructuras hidráulicas, es necesario conocer el comportamiento hidrológico de la zona de estudio o zona de influencia que genere escorrentías superficiales para posteriormente plantear diseños y modelaciones hidráulicas que convengan el buen funcionamiento y la durabilidad de la estructura a diseñar, mitigando el riesgo de inundación de la zona y el colapso de las estructuras diseñadas. Por tal motivo en este resumen ejecutivo se describe de manera breve la metodología y el proceso para la obtención de resultados. Como primera medida se realiza una localización del proyecto con el fin de conocer características morfométricas y pluviométricas de la zona de estudio. Tal descripción se realizará en el **numeral 2** y sirve como referencia tanto para el consultor como para el ente revisor para darse una idea del comportamiento fisiográfico del área de estudio.

Posteriormente en el **numeral 3** se realiza el análisis morfométrico de las áreas aferentes que afectan la vía a intervenir. Inicialmente se delimitan las cuencas hidrográficas haciendo uso de modelos digitales de elevación (DEM), los cuales son post procesados en software como Global Mapper, como complemento se verifican las cuencas haciendo uso de Google Earth y la topografía medida en campo. Una vez delimitadas y seccionadas las cuencas aportantes al proyecto analizado, se describen los parámetros morfométricos de la misma.

En el **numeral 4** se realiza el análisis pluviométrico de la zona de estudio. Como primera medida es necesario conocer las estaciones meteorológicas que convergen o inciden en la cuenca hidrográfica, motivo por el cual se descargó de la página del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) las series históricas multianuales de precipitación máxima multianual en 24 horas. Seguidamente, se efectúo un análisis de frecuencia de lluvias calculando las probabilidades de excedencia y así encontrar los periodos de retorno para una serie multianual de precipitaciones máximas en 24 horas. Con la información obtenida se generan los mapas isoyetales asociados a los diferentes periodos de retorno, información que permite conocer la precipitación máxima en 24 horas y precipitación que afecta las cuencas hidrográficas en función de la interacción del polígono formado por las estaciones meteorológicas de estudio, por último, se calcula el tiempo de duración de la lluvia o tormenta de diseño, el cual se representa mediante el hietograma de diseño.

En el **numeral 5,** se valoran las estructuras hidráulicas descritas mediante el levantamiento topográfico y así determinar que dichas estructuras sean funcionales para el proyecto. Estas estructuras se evalúan de acuerdo a la condición física y a la valoración hidráulica de las estructuras existentes. Finalmente se conglomeran los resultados obtenidos en todos los análisis.

En el **numeral 6 y 7.** Se estima el caudal bajo el modelo precipitación-escorrentía por el método racional y por el método del número de curva. Para la estimación de los caudales por el método racional se calcula la intensidad de precipitación (I) la cual se puede hallar gráficamente en las curvas IDF para un periodo de retorno especifico y el tiempo de concentración estimado; también con la ecuación de Díaz- Granados se puede realizar el mismo procedimiento de forma más precisa, adicional se calcula el coeficiente de escorrentía en función del tipo de suelo del área de estudio. Por último, Se estima el caudal por el método de infiltración SCS (NRCS) el método del número de curva, se hará uso del software HEC-HMS del cuerpo de ingenieros de los estados unidos, para lo cual se

debe conocer el *Tlag* (tiempo de retardo), numero de curva según la cobertura y textura del suelo, el área de cada cuenca, la longitud del cauce principal (longitud vial) y el hietograma de diseño en función del tiempo de duración de la lluvia para un periodo de retorno especifico; una vez hallados los caudales por los dos métodos se realiza un análisis de selección de caudales para no sobre estimar ni sub estimar los mismos.

En el **numeral 8** se inicia el análisis, dimensionamiento y modelación hidráulica. Se realiza el análisis hidráulico de las estructuras, se hace mención de las variables fundamentales para el análisis, se procede a la verificación hidráulica de las estructuras hidráulicas diseñadas, posterior a eso se lleva a cabo la modelación de la estructura a construir, tal modelación se realiza haciendo uso del software HY-8 en dónde se evalúa el caudal de diseño y se verifica la capacidad hidráulica de la estructura validando su funcionalidad. En este numeral también se procede a realizar el análisis hidráulico de las cunetas y los tramos viales con el fin de garantizar el buen funcionamiento en función de la capacidad hidráulica de la sección transversal de la vía extraída del diseño geométrico empleando como material metodológico Cartilla de Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural

En el **numeral 9,** se determina la longitud (L) máxima de vía, esta variable se emplea como guía a la hora de la ubicación de los puntos donde se deben ubicar alivios, desagües. Etc. Este procedimiento se hace con el fin de evitar desbordamiento en la vía. Este proceso consiste en chequear la capacidad de la vía, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc. en este apartado se usa como material metodológico Cartilla Guía Para Evaluación de cantidades y Ejecución de Presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea, del ministerio de transporte Instituto Nacional de Vías. Finalmente se procede a la ubicación de las obras hidráulicas complementarias para su buen funcionamiento si es requerido.

En el **numeral 10**, se realiza un análisis de sensibilidad en el cual se calcula el caudal asociado a un periodo de retorno máximo presentado en la zona estudiada, se evalúa si en estas condiciones podrían exceder las condiciones de diseño, dicho análisis se realiza con el caudal asociado a la precipitación máxima historia de la estación más cercana al proyecto.

En el **numeral 11**, se realiza la localización y detalles constructivos de las obras hidráulicas a construir, estructuras encargadas de hacer la recolección, direccionamiento y evacuación de las escorrentías superficiales; garantizando así un buen drenaje vial.

Por último, en el **numeral 12** se consignan una serie de recomendaciones y conclusiones que deben ser tenidas en cuenta por la empresa que vaya a desarrollar el proyecto durante la etapa constructiva.

2. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

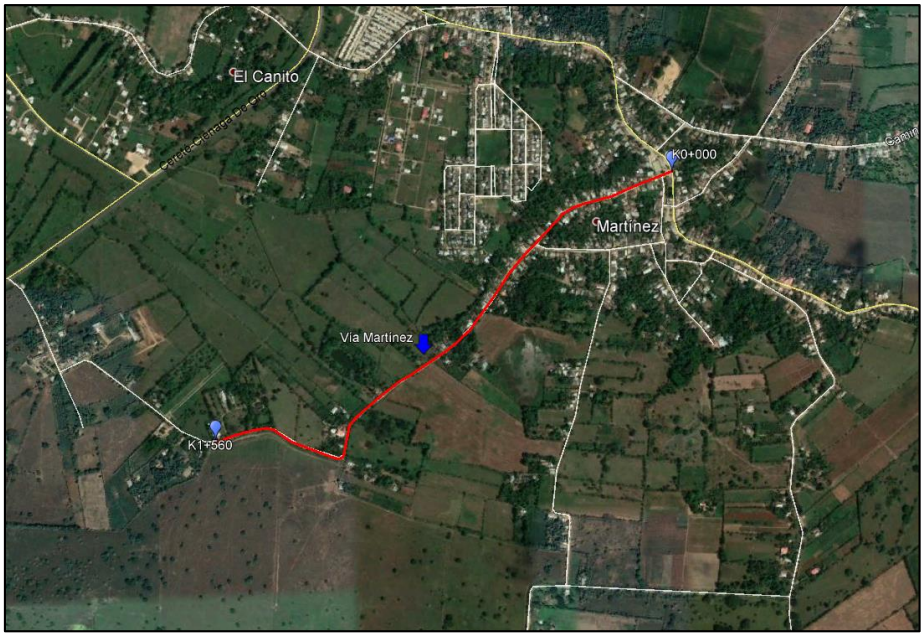
2.1. Localización del proyecto

El proyecto se encuentra localizado entre los Municipios de Cerete, en el Departamento de Córdoba, Colombia. Limita por el norte con los Municipios de San Pelayo y Chimá, por el este con el Municipio de Ciénaga de Oro, por el oeste con el Municipio de Montería y por el sur con los Municipios de San Carlos y Montería. Las vías objeto de contrato, están ubicadas en el corregimiento de Rabolargo, municipio de Cerete, departamento de Córdoba, **ver Ilustración 1.**

2.2. Topografía

La región presenta dos tipos de topografía: una completamente plana que se localiza sobre todo el valle del Río Sinú con pendientes que no superan el 3% y, otra al noreste con relieve ligeramente ondulado ha quebrado, con pendientes hasta del 50% en donde las principales unidades fisiográficas son abanicos. La parte media del valle del Río Sinú se localiza a la altura de Cereté inclinándose hacia el oriente debido a la rápida sedimentación del río en relación con las orillas del valle.

Dentro de la planicie fluvio-lacustre existe una serie de terrazas bajas, compuestas generalmente por materiales finos que corresponden a arcillas finas y arenas finas. Estos materiales son poco permeables y facilitan los encharcamientos en épocas de lluvias y agrietamiento en los periodos secos. **Ver ilustración 1.**

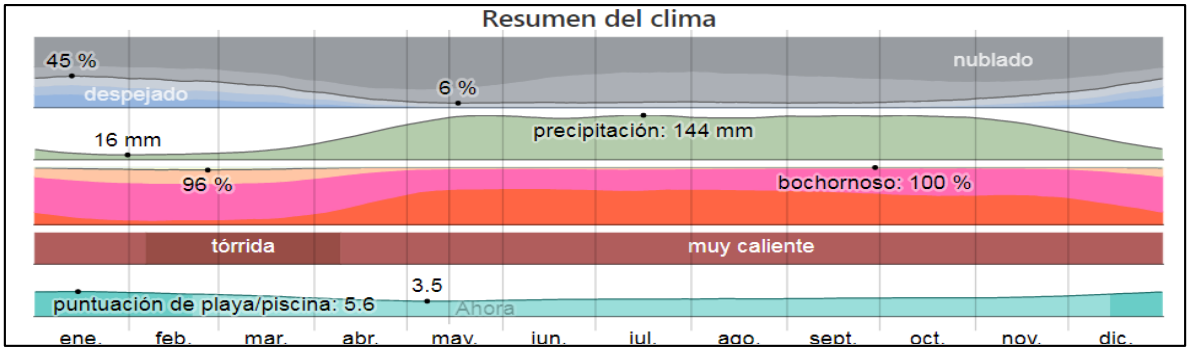


Fuente: Google Earth
Ilustración 1 Localización general del proyecto de estudio

2.3. Clima y Temperatura.

La posición latitudinal y la ausencia de elevaciones orográficas significativas, colocan a la totalidad del área del proyecto, dentro de lo que comúnmente se ha denominado tierras cálidas con diferentes precipitaciones y temperaturas moderadas. Los veranos son cortos y tórridos, los inviernos son caliente y mojados y está opresivo y nublado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 36 °C y rara vez baja a menos de 22 °C o sube a más de 39 °C.

La región en términos generales, presenta características rústicas, debido a la acción de los vientos secos provenientes del noreste, que, al llegar al Continente, se llevan consigo la poca humedad atmosférica existente, hasta encontrar barreras donde se depositan las masas de aire. La humedad relativa es del 80.1%, según los datos registrados en la estación Turipaná. La variación es mínima; en marzo ocurre la humedad relativa más baja en el año con 76.2%, mientras que en noviembre se presenta la mayor con 83%.



Fuente: IDEAM agosto de 2018

Ilustración 2 Parámetros climáticos promedio.

2.4. Hidrografía

Se encuentra distribuida en microrregiones de la siguiente forma:

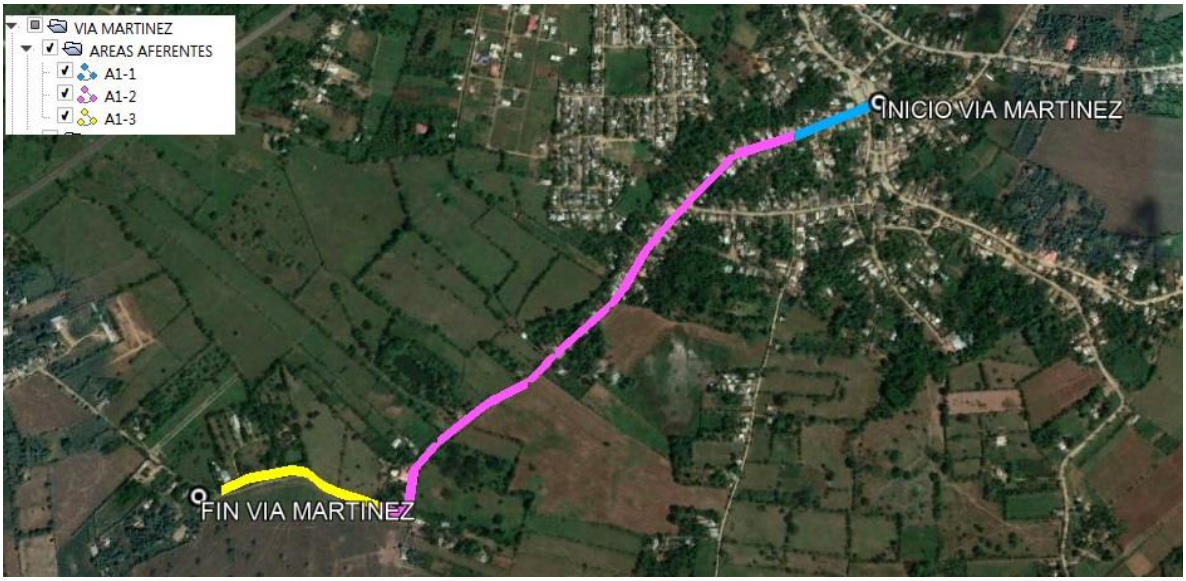
Micro Región 1: integrada por la cabecera municipal y los corregimientos de Martínez, Manguelito, Mateo Gómez, Retiro de los Indios y Rabolargo, está bañada por el Caño Bugre y sus brazos y el Brazo de Lara en su gran mayoría, la Ciénaga de Wilches y una parte de la Ciénaga la Granchina. La Micro Región 2: pertenece a una zona homogénea bien definida, comprende el corregimiento de Severá, en total es alimentada por el brazo de Lara (cauce principal del Río Sinú) la Ciénaga de Corralito, los caños del Vidrial y Caño Viejo y los arroyos Trementino y El Coco. La Micro Región 3: integrada por los corregimientos de Cuero Curtido y Tres Marías. Es la parte de mayores pendientes del Municipio y está atravesada por los arroyos El Coco y Trementino.

3. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

Mediante este análisis cuantitativo se busca conocer las características físicas de las áreas aferentes del proyecto estudiado. Cabe resaltar que el análisis morfométrico no solo se realiza a cuencas de gran escala, también se puede realizar a microcuencas.

3.1. Identificación y delimitación de las áreas aportante de la vía

Como primera medida es necesario realizar la delimitación de las áreas tributarias del proyecto; en este caso este ejercicio se realiza en función del comportamiento de drenaje de las zonas de influencia. Posteriormente se definió el área aferente y la distribución de la red de drenaje con sus respectivas áreas de drenaje. Para el análisis hidrológico e hidráulico se procedió a estudiar la vía, sus áreas aferentes y sistema de drenaje, Ver **ilustración 3.**

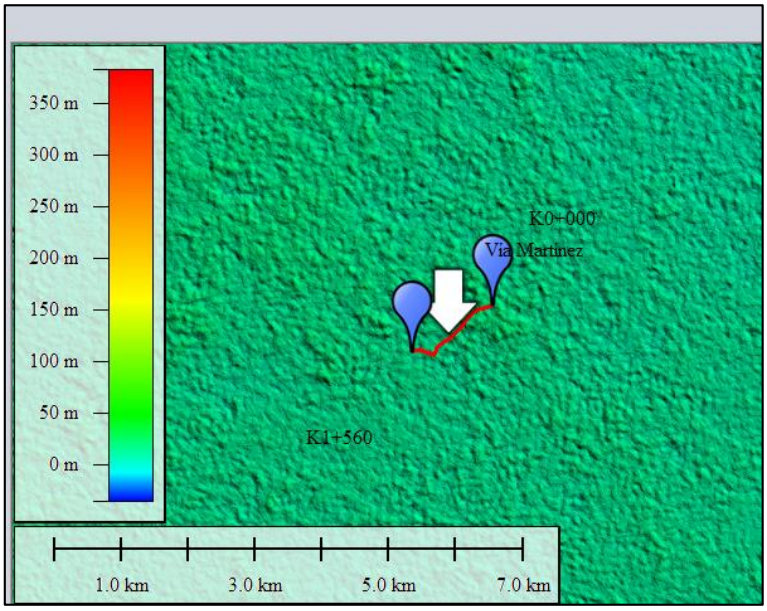


Fuente: Google Earth

Ilustración 3 Delimitación de áreas aferentes de la vía

3.1. Identificación y delimitación del área de la cuenca

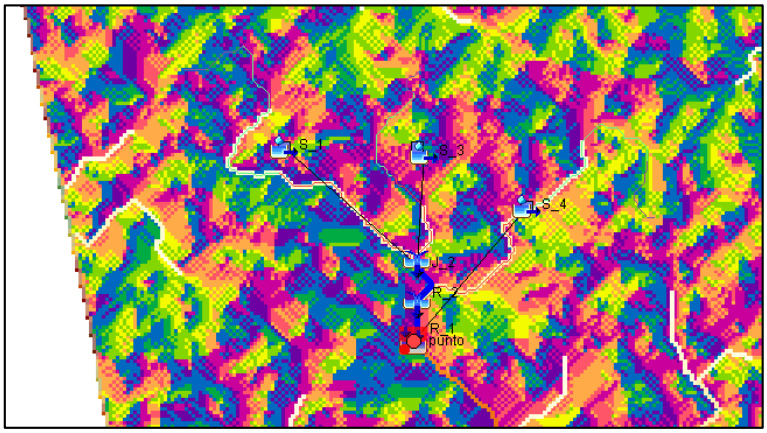
Como primera medida es necesario realizar la delimitación del área aportante para lo cual es necesario conocer las diferentes geoformas y comportamiento topográfico de la zona de influencia función de la estructura existente. Para tal fin, esta consultoría descarga un modelo digital de elevaciones (DEM) de la página https://vertex.daac.asf.alaska.edu/, el cual es reproducido en Global Mapper y del cual se extrae el área de la cuenca hidrográfica como se observa en la **ilustración 3.**



Fuente: Global Mapper

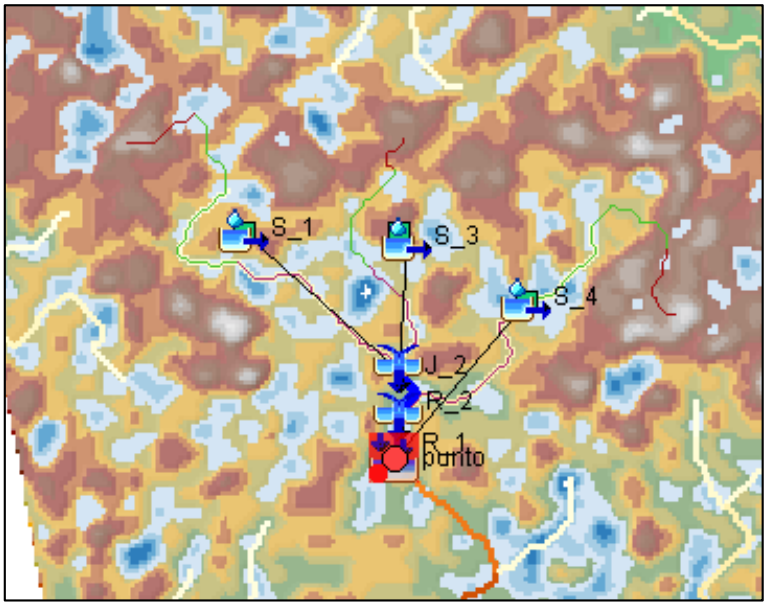
Ilustración 4 Identificación de la localización del puente en el DEM

Posteriormente, se genera los contornos del DEM con el fin de delimitar la cuenca hidrográfica que genera una influencia directa para el análisis hidrológico y posteriormente el análisis hidráulico. Este archivo se exporta a Google Earth, en donde se realiza un chequeo del relieve y se define de manera precisa el área de la cuenca hidrográfica, **ver ilustración 5**. Por último, este archivo se exporta a HEC - HMS y se extrae algunos parámetros morfométricos, **ver tabla 1.**



Fuente: ARC-GIS

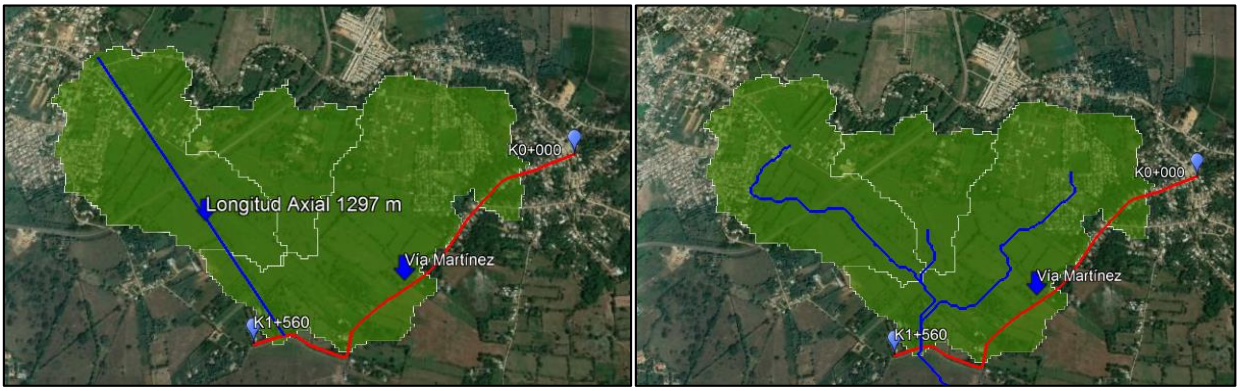
Ilustración 5 TIN con curvas de nivel de la cuenca



Fuente: HEC-HMS
Ilustración 6 Identificación de Zonas inundables

3.2. Longitud del cauce principal y delimitación de subcuencas

En este numeral, se define el cauce principal de la cuenca hidrográfica, el cual corresponde al curso principal de las corrientes hidrográficas de la cuenca. Este valor se define en HEC-HMS 4.7.1, Por otro lado, se definen las subcuencas que componen la cuenca hidrográfica, ver **ilustración 7.**



Fuente: Google Earth.
Ilustración 7 Definición de la longitud del cauce principal y la longitud axial de la cuenca.

3.3. Jerarquización de la red fluvial

El cálculo de la jerarquización de la red fluvial o la definición del número de orden de la red hídrica, permite conocer el comportamiento y desarrollo de la red de drenaje de la cuenca hidrográfica.

Conocer este parámetro es de gran importancia para determinar la densidad de drenaje de la red hídrica y posteriormente la pendiente de la misma. Cabe aclarar que la pendiente de la red hídrica no solo considera la pendiente del cauce principal, también considera las diferentes bifurcaciones que llegan al cauce principal y así sucesivamente. Este parámetro también se conoce como número de orden de la red de drenaje de una cuenca. Como se muestra en la **ilustración 7.** Adicional, en la **ilustración 8** se puede observar el orden de la red hídrica de la cuenca hidrográfica.

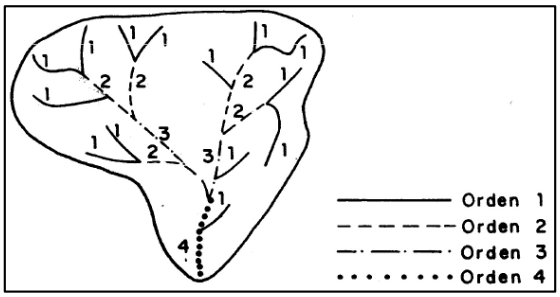
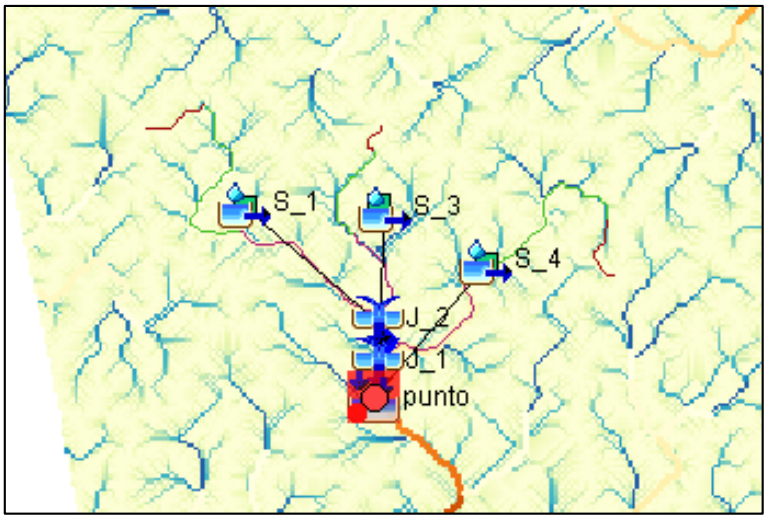


Ilustración 8 Clasificación del número de orden de la red



Fuente: ARC-GIS

Ilustración 9 Definición del orden de la red hídrica de la cuenca hidrográfica

3.4. Presentación de los parámetros morfométricos para la subcuenca

Por último, se genera una tabla donde se puede observar los diferentes parámetros morfométricos calculados mencionados anteriormente y su respectivo valor mediante el Software HEC-HMS versión

4.7.1, ver **Tabla 1 y 2**, adicional en la **Tabla 3** se pueden observar las características de los causes y por último en la **Ilustración 10** se observa la cuenca Hidrográfica.

Subbasin	Area (km^2)	Longest Flowpath Length (km)	Longest Flowpath Slope (m/m)	Centroidal Flowpath Length (km)	Centroidal Flowpath Slope (m/m)	10-85 Flowpath (km)	10-85 Flowpath Slope (m/m)
Sub_1	0.4297	1.6906	0.00473	0.6706	0.00149	1.2679	0.00079
Sub_3	0.2162	0.9543	0.00629	0.4037	0.00000	0.7157	0.0014
Sub_4	0.6117	1.8195	0.0055	0.8278	0.00121	1.3646	0.00366

Fuente: HEC-HMS 4.7.1

Tabla 1 parámetros morfométricos de las subcuencas parte 1

Subbasin	Basin Slope	Basin Relief (m)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (km/km^2)
Sub_1	0.04045	11.000	0.00651	0.43752	2.6894
Sub_3	0.04410	7.000	0.00734	0.54988	1.0974
Sub_4	0.04207	11.000	0.00605	0.48504	2.2683

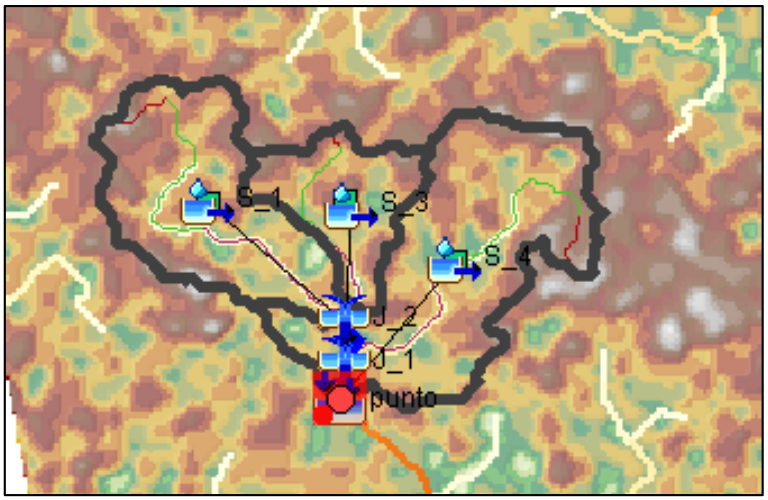
Fuente: HEC-HMS 4.7.1

Tabla 2 parámetros morfométricos de las subcuencas parte 2

Reach	Length (km)	Slope (m/m)	Relief (m)	Sinuosity
Reach_2	0.1914	0.0052	1.0000	1.2761
Reach_1	0.1302	0.0000	0.0000	1.0363

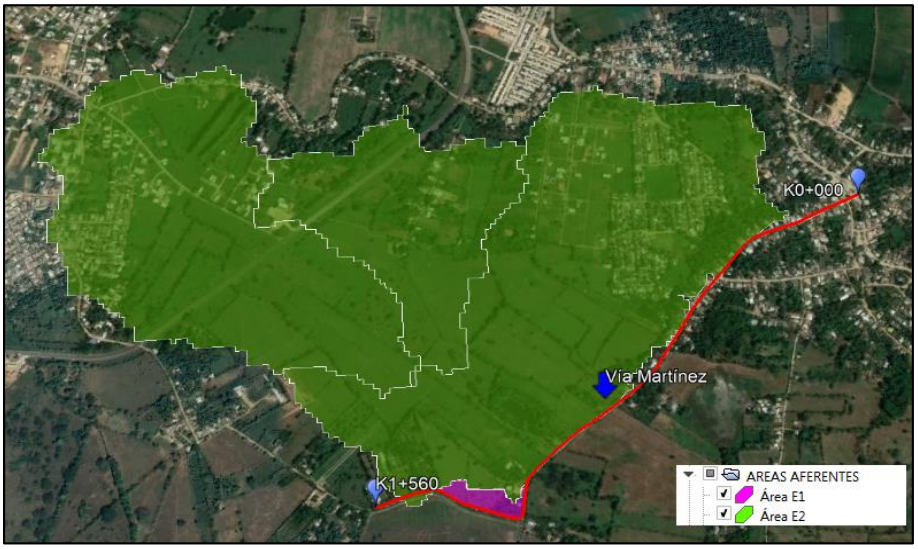
Fuente: HEC-HMS 4.7.1

Tabla 3 características de los causes



Fuente: Software HEC-HMS 4.7.1

Ilustración 10 Drenaje de la cuenca hidrográfica



Fuente: Software HEC-HMS 4.7.1
Ilustración 11 Areas aferentes de las subcuencas para el análisis de las estructuras.

3.5. Cálculo de parámetro morfométricos para la via

El cálculo de parámetros morfométricos se realizó en función de la definición del área aferente. A continuación, se presenta en la **Tabla 4 y 5.** los parámetros morfométricos calculados para el área aferente. En las tablas **6, 7 y 8** se presentan los valores de referencia para determinar el tipo de terreno en función de la pendiente, la categoría de la cuenca en función de la densidad de drenaje y la forma de la cuenca en función del factor de forma.

En términos generales conocer las características físicas y morfométricas de un área de drenaje independiente de su tamaño, nos permite deducir el comportamiento de la misma en función del drenaje; la forma de la cuenca nos permite conocer la susceptibilidad de la misma, para el caso particular de las cuencas alargadas o muy alargadas el tiempo de recorrido es más largo, en otras palabras, tiene mayor tiempo de concentración, generando menor violencia en las crecidas y picos de crecidas menos súbitos para lluvias concentradas; situación contraria para cuencas redondeadas. Por otro lado, la densidad de drenaje permite tener una idea del tipo de vegetación y permeabilidad del suelo. Una cuenca con densidad de drenaje baja puede ser un indicador de una cuenca pobremente drenada y con una respuesta hidrológica lenta.

N° Alineamiento	Area de Drenaje	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Area Unitaria (m2)	Area Acumulada (m2)	Area (Km2)	Area (ha)	Longitud de tramo (m)	Pendiente (%)
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+160.00	960.00	960.00	0.00096	0.0960	160.00	0.27%
	A1-2	K0+160.00	K1+240.00	6480.00	6480.00	0.00648	0.6480	1080.00	0.20%
	A1-3	K1+240.00	K1+560.00	1920.00	1920.00	0.00192	0.1920	320.00	0.59%

Fuente: Elaboración propia
Tabla 4 Parámetros morfométricos parte 1 de la vía

N° Alineamiento	Area de Drenaje	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Perimetro (m)	Diametro Cuenca Circular (km)	Ancho Medio (m)	Densidad de Drenaje (km/km2)	Indice de Gravelius	Factor de Forma
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+160.00	330.40	0.03	6.00	166.67	2.99	0.04
	A1-2	K0+160.00	K1+240.00	2170.40	0.09	6.00	166.67	7.55	0.01
	A1-3	K1+240.00	K1+560.00	650.40	0.05	6.00	166.67	4.16	0.02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Parámetros morfométricos parte 2 de la vía

Densidad de Drenaje (Km/Km^2)	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: Delgadillo y Páez (2008)

Tabla 6 Valores interpretativos de la densidad de drenaje

Pendiente media (%)	Terrenos
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Pérez (1979)

Tabla 7 Característica cualitativa de una cuenca de acuerdo con su pendiente

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 -1.20	Muy Ensanchada
> 1.200	Rodeando el Desagüe

Fuente: Delgadillo y Páez (2008)

Tabla 8 Valores interpretativos del factor forma

4. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

En este numeral se busca encontrar valores que relacionan variables de precipitación con periodos de retorno que posteriormente serán utilizados para el cálculo del tiempo de concentración, intensidad de precipitación y caudal de escorrentía.

4.1. Estaciones meteorológicas

Cerete es un municipio que está localizado en el departamento de Córdoba, Las estaciones meteorológicas seleccionadas fueron las de subregión del Urabá y la subregión del Sinú alto y medio**.** Durante el desarrollo del estudio, se solicitó al IDEAM los valores de precipitaciones multianuales máximas en 24 horas. La información de los valores multianuales de las estaciones meteorológicas se puede observar en el **anexo 1.** En la **tabla 9** se puede observar algunas características de cada una de las estaciones y en la **ilustración 12** la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.

Municipio	Nombre de Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)	Corriente
San Pelayo	San Antonio	13080010	8.9359	-75.9533	50	Sinú
San Pelayo	Carrillo	13070180	8.9844	-75.8318	20	Sinú
San Carlos	Buenos Aires 1	13070170	8.7728	-75.7497	9	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Santa Rosa	13070100	8.7411	-75.6014	140	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Carrizal	13070110	8.6819	-75.7535	40	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Coroza 2	13070190	8.8047	-75.7650	9	Sinú
San Carlos	San Carlos	13070090	8.7906	-75.7014	60	Caño Aguas Prieta
San Carlos	Callemar	13070120	8.6975	-75.6778	95	Caño Aguas Prieta
Montería	Boca De La Ceiba	13070070	8.8299	-75.8561	20	Sinú
Montería	Buenos Aires	13060020	8.4758	-75.7653	55	Caño Betanci
Montería	Sabanal	13070280	8.7886	-75.7514	10	Sinú
Montería	San Anterito	13060010	8.5578	-75.8611	75	Ay Aguaviva
Montería	Loma Verde	13050030	8.5019	-76.1753	100	Qda Florisanto
Montería	Santa Cruz Hacienda	13050020	8.6675	-76.1239	220	Qda Florisanto
Montería	Santa Lucia	13050010	8.8486	-76.0453	120	Qda Del Medio
Montería	Tampa	13070290	8.6247	-75.7672	20	Sinú
Montería	Maracayo	13065020	8.4106	-75.8844	25	Ay Betanci
Montería	Univ. de córdoba	13075050	8.7939	-75.8615	15	Sinú
Ciénaga De Oro	ciénaga de oro	13077070	8.8725	-75.6258	10	Caño Aguas Prieta
Ciénaga De Oro	salado el	13075020	8.9139	-75.5822	40	Ay Aguas Prieta
Cereté	Cereté	13070050	8.8903	-75.7863	20	Caño Bugre
Cereté	Rabolargo	13070040	8.9506	-75.7425	19	Caño Bugre
Cereté	Turipana	13075030	8.8395	-75.8019	20	Caño Bugre
Tierralta	caramelo	13060030	8.2661	-75.9039	60	Cauca
Tierralta	Tierralta	13030010	8.1867	-76.0531	100	Canal Floresta
Chima	chima	13075010	9.1508	-75.6221	20	Lago Cuesta Abajo
Chinu	Chinu - Aut	25020470	9.1178	-75.3933	125	Suarez
Planeta Rica	Planeta Rica - Aut	25025190	8.3993	-75.5837	90	San Miguel
Sahagún	Trementino	25021210	8.8179	-75.4742	136	Caño Tapoa
Sahagún	Jobo El Tablón	25020720	8.6372	-75.3836	130	San Juan De Urabá
Sahagún	Sahagún	25020140	8.9508	-75.4519	60	Caño Violo
Sahagún	Colomboy	25025170	8.7409	-75.4988	125	San Juan De Urabá
Puerto Escondido	Cristo Rey - Aut	12045020	9.0711	-76.2244	15	Cienaga Zapatoza
Puerto Escondido	Jaramagal	12040010	8.9008	-76.2208	90	Canal San Carlos
Valencia	Pezval	13040030	8.2622	-76.1692	80	Cauca
Pueblo Nuevo	Sajonia Hacienda - Aut	25020600	8.4897	-75.6014	100	Yaguara
Arboletes	Arboletes	12045010	8.8469	-76.4319	4	Magdalena
Arboletes	Carmelo El	12030020	8.6169	-76.3814	50	Magdalena
Montelibano	San Francisco	25010100	8.1292	-75.7600	160	N/A
Montelíbano	Pica	25010080	8.0311	-75.6831	100	N/A
Tierralta	Quimari	13040010	8.0667	-76.3333	200	N/A
Tierralta	Represa Urra	13015040	8.0142	-76.2031	300	N/A
Sincelejo	Pastora La	13090230	9.2933	-75.4919	58	N/A
Sincelejo	Puerta Roja Aut	25025350	9.3164	-75.3875	160	N/A
Corozal	Aeropuerto Rafael Barvo	25025080	9.3339	-75.2831	166	N/A

Municipio	Nombre de Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)	Corriente
Corozal	Hato Nuevo	25020990	9.1783	-75.1903	80	N/A
Colosó	Paraíso El	13090060	9.4739	-75.3708	100	N/A
Colosó	Primates	13095020	9.5301	-75.3514	200	N/A
Tolú	Santa Angela Hacienda	13090090	9.4853	-75.5125	20	N/A
Tolú	Tolú	13090070	9.5192	-75.5911	2	N/A
Toluviejo	Argentina	13090100	9.4858	-75.4686	20	N/A
Toluviejo	Toluviejo	13090050	9.4380	-75.4400	60	N/A
San Antero	Villa Marcela	13070440	9.3522	-75.7189	40	N/A

Fuente: IDEAM (Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales)
Tabla 9 Estaciones pluviométricas seleccionadas del área de estudio



Fuente: Google Earth
Ilustración 12 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas

4.2. Datos de precipitación de las estaciones de estudio

Para el análisis pluviométrico, se seleccionan las precipitaciones medias y máximas en 24 horas de una serie histórica de precipitaciones. Los datos seleccionados de precipitación media y máxima se realizan para que, durante la generación de las curvas isoyetales, se generé el mapa para cada tipo de precipitación antes mencionada y en función del tipo de lluvia recurrente de la zona, se asocie el valor

más acorde a las condiciones (orográficas, ciclónicas o convectivas). se define la precipitación máxima en 24 horas presentada en la **Tabla 10** y la precipitación media en 24 horas en la **Tabla 11**.

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Max en 24 Horas
1	SANTA ROSA	13070100	8.741111	-75.601417	137.00
2	BUENOS AIRES 1	13070170	8.772778	-75.749722	160.00
3	CARRIZAL	13070110	8.681944	-75.753528	145.00
4	SAN CARLOS	13070090	8.790556	-75.701389	141.00
5	COROZA 2	13070190	8.804722	-75.765000	150.00
6	CALLEMAR	13070120	8.697500	-75.677778	150.00
7	BOCA DE LA CEIBA	13070070	8.829917	-75.856111	135.00
8	SANTA LUCIA	13050010	8.848611	-76.045278	170.00
9	SAN ANTERITO	13060010	8.557778	-75.861111	150.00
10	TAMPA	13070290	8.624722	-75.767222	170.00
11	SANTA CRUZ HACIENDA	13050020	8.667500	-76.123889	148.00
12	LOMA VERDE	13050030	8.501944	-76.175278	126.00
13	SABANAL	13070280	8.788611	-75.751389	136.00
14	BUENOS AIRES	13060020	8.475833	-75.765278	138.00
15	MARACAYO	13065020	8.410556	-75.884444	137.00
16	UNIV DE CÓRDOBA	13075050	8.793889	-75.861528	182.00
17	RABOLARGO	13070040	8.950611	-75.742472	140.00
18	CERETÉ	13070050	8.890333	-75.786250	202.60
19	TURIPANA	13075030	8.839528	-75.801889	145.40
20	SAN ANTONIO	13080010	8.935861	-75.953333	139.00
21	CARRILLO	13070180	8.984444	-75.831778	150.00
22	SALADO EL	13075020	8.913889	-75.582222	130.00
23	CIÉNAGA DE ORO	13077070	8.872500	-75.625833	156.00
24	CARAMELO	13060030	8.266111	-75.903889	138.00
25	TIERRALTA	13030010	8.186667	-76.053056	150.00
26	CHIMA	13075010	9.150750	-75.622083	130.00
27	CHINÚ AUT	25020470	9.117778	-75.393333	142.00
29	PLANETA RICA	25025190	8.399333	-75.583722	160.00
30	COLOMBOY	25021210	8.817944	-75.474194	158.40
31	SAHAGÚN	25020720	8.637222	-75.383611	147.00
32	TREMENTINO	25020140	8.950833	-75.451944	180.00
33	JOBO EL TABLON	25025170	8.740861	-75.498833	140.00
34	CRISTO REY AUT	12045020	9.071111	-76.224444	167.50
35	JARAMAGAL	12040010	8.900833	-76.220833	210.00
36	PEZVAL	13040030	8.262222	-76.169167	130.00
37	SAJONIA HACIENDA AUT	25020600	8.489722	-75.601389	142.00
38	ARBOLETES	12045010	8.846944	-76.431944	172.60
39	CARMELO EL	12030020	8.616944	-76.381389	182.00
40	BUENAVISTA	25020520	8.222222	-75.467500	150.00
41	AYAPEL	25025030	8.295064	-75.164556	183.30
42	SAN FRANCISCO	25010100	8.129167	-75.760000	140.00
43	PICA PICA	25010080	8.031111	-75.683056	170.00
44	QUIMARI	13040010	8.066667	-76.333333	150.00
45	REPRESA URRA	13015040	8.014167	-76.203056	165.50
46	PASTORA LA	13090230	9.293333	-75.491944	120.00
47	PUERTA ROJA AUT	25025350	9.316389	-75.387500	133.00
48	AEROPUERTO RAFAEL BARVO	25025080	9.333889	-75.283056	128.00
49	HATO NUEVO	25020990	9.178333	-75.190278	151.00
50	PARAISO EL	13090060	9.473889	-75.370833	149.20
51	PRIMATES	13095020	9.530139	-75.351361	135.00
52	SANTA ANGELA HACIENDA	13090090	9.485278	-75.512500	155.00
53	TOLU	13090070	9.519167	-75.591111	150.00

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Max en 24 Horas
54	ARGENTINA	13090100	9.485833	-75.468611	165.00
55	TOLUVIEJO	13090050	9.438000	-75.440000	146.00
56	VILLA MARCELA	13070440	9.352222	-75.718889	177.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Precipitaciones Máxima 24 Horas

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Media en 24 Horas
1	SANTA ROSA	13070100	8.741111	-75.601417	100.24
2	BUENOS AIRES 1	13070170	8.772778	-75.749722	99.55
3	CARRIZAL	13070110	8.681944	-75.753528	100.31
4	SAN CARLOS	13070090	8.790556	-75.701389	97.63
5	COROZA 2	13070190	8.804722	-75.765000	87.48
6	CALLEMAR	13070120	8.697500	-75.677778	90.00
7	BOCA DE LA CEIBA	13070070	8.829917	-75.856111	92.89
8	SANTA LUCIA	13050010	8.848611	-76.045278	89.29
9	SAN ANTERITO	13060010	8.557778	-75.861111	88.89
10	TAMPA	13070290	8.624722	-75.767222	88.23
11	SANTA CRUZ HACIENDA	13050020	8.667500	-76.123889	75.04
12	LOMA VERDE	13050030	8.501944	-76.175278	82.11
13	SABANAL	13070280	8.788611	-75.751389	88.93
14	BUENOS AIRES	13060020	8.475833	-75.765278	90.97
15	MARACAYO	13065020	8.410556	-75.884444	90.72
16	UNIV DE CÓRDOBA	13075050	8.793889	-75.861528	82.18
17	RABOLARGO	13070040	8.950611	-75.742472	89.92
18	CERETÉ	13070050	8.890333	-75.786250	95.62
19	TURIPANA	13075030	8.839528	-75.801889	90.35
20	SAN ANTONIO	13080010	8.935861	-75.953333	85.32
21	CARRILLO	13070180	8.984444	-75.831778	93.17
22	SALADO EL	13075020	8.913889	-75.582222	80.37
23	CIÉNAGA DE ORO	13077070	8.872500	-75.625833	93.49
24	CARAMELO	13060030	8.266111	-75.903889	94.40
25	TIERRALTA	13030010	8.186667	-76.053056	101.20
26	CHIMA	13075010	9.150750	-75.622083	80.79
27	CHINÚ AUT	25020470	9.117778	-75.393333	101.58
29	PLANETA RICA	25025190	8.399333	-75.583722	97.30
30	COLOMBOY	25021210	8.817944	-75.474194	85.21
31	SAHAGÚN	25020720	8.637222	-75.383611	85.91
32	TREMENTINO	25020140	8.950833	-75.451944	93.91
33	JOBO EL TABLON	25025170	8.740861	-75.498833	97.08
34	CRISTO REY AUT	12045020	9.071111	-76.224444	100.96
35	JARAMAGAL	12040010	8.900833	-76.220833	95.45
36	PEZVAL	13040030	8.262222	-76.169167	89.54
37	SAJONIA HACIENDA AUT	25020600	8.489722	-75.601389	89.18
38	ARBOLETES	12045010	8.846944	-76.431944	115.29
39	CARMELO EL	12030020	8.616944	-76.381389	90.40
40	BUENAVISTA	25020520	8.222222	-75.467500	99.08
41	AYAPEL	25025030	8.295064	-75.164556	116.06
42	SAN FRANCISCO	25010100	8.129167	-75.760000	102.87
43	PICA PICA	25010080	8.031111	-75.683056	96.06
44	QUIMARI	13040010	8.066667	-76.333333	82.20
45	REPRESA URRA	13015040	8.014167	-76.203056	116.79
46	PASTORA LA	13090230	9.293333	-75.491944	74.81
47	PUERTA ROJA AUT	25025350	9.316389	-75.387500	75.91

Ítem	Estación	ID IDEAM	Latitud	Longitud	P Media en 24 Horas
48	AEROPUERTO RAFAEL BARVO	25025080	9.333889	-75.283056	76.20
49	HATO NUEVO	25020990	9.178333	-75.190278	96.26
50	PARAISO EL	13090060	9.473889	-75.370833	90.11
51	PRIMATES	13095020	9.530139	-75.351361	78.02
52	SANTA ANGELA HACIENDA	13090090	9.485278	-75.512500	103.01
53	TOLU	13090070	9.519167	-75.591111	105.63
54	ARGENTINA	13090100	9.485833	-75.468611	105.41
55	TOLUVIEJO	13090050	9.438000	-75.440000	92.62
56	VILLA MARCELA	13070440	9.352222	-75.718889	90.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Precipitaciones Media en 24 horas

4.3. Análisis de frecuencia de precipitaciones para la estación más cercana

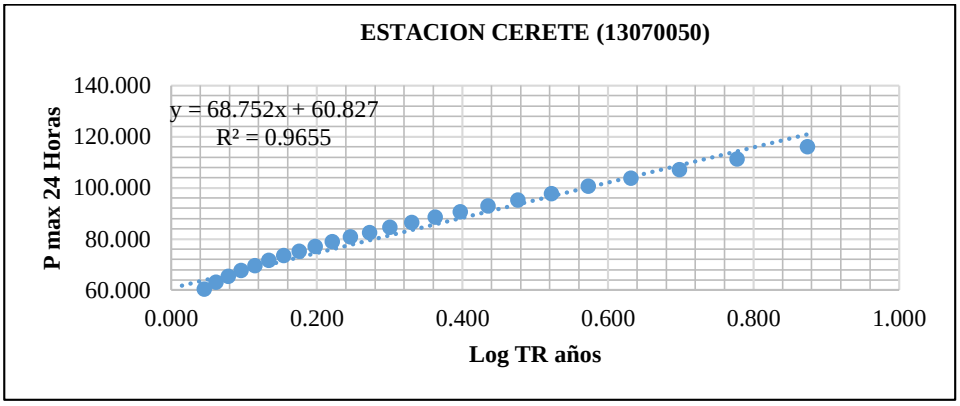
El análisis de frecuencia de lluvias se ejecuta con las precipitaciones máximas en 24 horas. En función de lo mencionado anteriormente se procede a calcular la probabilidad de excedencia la cual indica dentro de una serie de datos la probabilidad que un dato sea excedido por los demás datos que ocurrieron en la serie histórica. En este caso particular para el cálculo de la probabilidad de excedencia se utilizó el método de Gumbel; método que permite calcular el periodo de retorno de ocurrencia de una precipitación máxima. Una vez realizado el análisis de frecuencia de lluvias, se calcula la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno. Esta información es de gran importancia a la hora de realizar la sensibilidad.

En la **gráfica 1** se observa el comportamiento del periodo de retorno en escala logarítmica (eje X) y las precipitaciones máximas en 24 horas en escala aritmética (eje Y); adicional se puede observar la línea de tendencia que mejor se ajusta al modelo con su respectiva ecuación. Una vez encontrada la ecuación de ajuste de cada método se puede calcular la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno; sin embargo, la metodología de Gumbel permite analíticamente calcular la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno. Ver **Anexo 2.**

PERIODO DE RETORNO GUMBEL - ESTACIÓN CERETE (/13070050)					
TR (años)	Log TR	P(x)	F(x)	P(mm) (Gumbel)	P (Media) mm
2	0.301	0.50	0.50	84.4	134.6
5	0.699	0.20	0.80	107.1	
10	1.000	0.10	0.90	122.1	
25	1.398	0.04	0.96	141.0	
50	1.699	0.02	0.98	155.1	
75	1.875	0.01	0.99	163.3	
100	2.000	0.01	0.99	169.1	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Ecuaciones de ajuste y cálculo de P max 24 horas para diferentes periodos de retorno



Fuente: Elaboración propia

Grafica 1 Modelo de línea de tendencia y modelo de ajuste por el método de Gumbel

Para el proceso de cálculo por el método de Gumbel se utilizaron las variables presentadas en la **Tabla 13** y **Tabla 14** en las siguientes expresiones expresión:

$$-\ln\left(-\ln\left(f(x)\right)*\alpha\right)+\mu \quad donde \quad \alpha=\frac{Sx}{Sn} \quad y \quad \mu = x(media)-(yn*\alpha) \quad Ec.1$$

Datos para calcular por Gumbel		
Desviación Estandar	Sx	22.1733
De la Tabla	Sn	1.10864
Alfa	α	20.0004
Media	X	87.7637
De la Tabla	Yn	0.53527
Miu	μ	77.0580
Numero de datos	n	29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Valores necesarios para el análisis de frecuencia de lluvias por el método de Gumbel

n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n
2	0.4043	0.4984	37	0.5418	1.1339	84	0.5576	1.1967
3	0.4286	0.6435	38	0.5424	1.1363	86	0.5580	1.1980
4	0.4458	0.7315	39	0.5430	1.1388	88	0.5583	1.1994
5	0.4588	0.7928	40	0.5436	1.1413	90	0.5586	1.2007
6	0.4690	0.8388	41	0.5442	1.1436	92	0.5589	1.2020
7	0.4774	0.8749	42	0.5448	1.1458	94	0.5592	1.2032
8	0.4843	0.9043	43	0.5453	1.1480	96	0.5595	1.2044
9	0.4902	0.9288	44	0.5458	1.1499	98	0.5598	1.2055
10	0.4952	0.9497	45	0.5463	1.1519	100	0.5600	1.2065
11	0.4996	0.9676	46	0.5468	1.1538	150	0.5646	1.2253
12	0.5035	0.9833	47	0.5473	1.1557	200	0.5672	1.2360
13	0.5070	0.9972	48	0.5477	1.1574	250	0.5688	1.2429
14	0.5100	1.0095	49	0.5481	1.1590	300	0.5699	1.2479
15	0.5128	1.0206	50	0.5485	1.1607	400	0.5714	1.2545
16	0.5157	1.0316	51	0.5489	1.1623	500	0.5724	1.2588
17	0.5181	1.0411	52	0.5493	1.1638	750	0.5738	1.2651
18	0.5202	1.0493	53	0.5497	1.1653	1000	0.5745	1.2685

Fuente: Manual de drenaje vial INVIAS

Tabla 14 Distribución Gumbel valores de Yn y Sn

Con base en la precipitación máxima histórica en 24 horas de la estación más cercana a la zona de estudio, se calculó el periodo de retorno asociado a dicha precipitación. En la **tabla 15** se presenta el año, la precipitación máxima en 24 horas y el periodo de retorno asociado a dicho evento.

PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA PMAX HISTÓRICA		
Año	**Pmax 24-h (mm)**	**TR (años)**
1996	137	25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Periodo de retorno asociado a la Pmax histórica en 24 horas

Se realizó el análisis de lluvia donde se tuvieron precipitaciones medias y precipitaciones máximas en 24 horas, de acuerdo a la ubicación del proyecto, se manejó la precipitación media en 24 horas puesto que tiene mejor adaptación a las condiciones de la zona en estudio, debido que este proyecto se encuentra ubicado en una zona con latitud media (no es muy alta ni baja) donde las lluvias ciclónicas tienen gran influencia en su comportamiento hidrológico, por consiguiente al seleccionar la variable precipitación media se produce una mayor seguridad en el diseño.

4.4. Periodo de retorno de estudio

Se define como periodo de retorno TR para eventos hidrológicos máximos al tiempo esperado máximo en años para que el caudal pico de la creciente sea igualado o excedido, por tal motivo está asociado al análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas y a su probabilidad de excedencia expresado por medio de curvas isoyetas o polígonos (Thiessen).

Por otra parte, el periodo de retorno está asociado a las características del área de drenaje y la estructura hidráulica a construir. De lo anterior, se define: un periodo de retorno asociado a las condiciones actuales del área de drenaje, cobertura del suelo, relevancia del proyecto, y condiciones particulares de las obras hidráulicas necesarias para la evacuación de las escorrentías superficiales. Durante el desarrollo del proyecto serán considerados los siguientes periodos de retorno:

- ***5 años*** *en función del tipo de estructura vial y en función del área aferente*
- ***25 años*** *en función de la P Max histórica*
- ***20 años*** *en función del tipo de estructura hidráulica (Box Culvert)*
- ***50 años*** *en función de la sensibilidad para las estructuras hidráulicas.*

Tal selección se realiza en función de las condiciones de drenaje y la clasificación de las **Tablas 16 y 17**.

Obras de drenaje vial	Tr
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100

Fuente: Tabla 5.1 Manual de drenaje vial

Tabla 16 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema

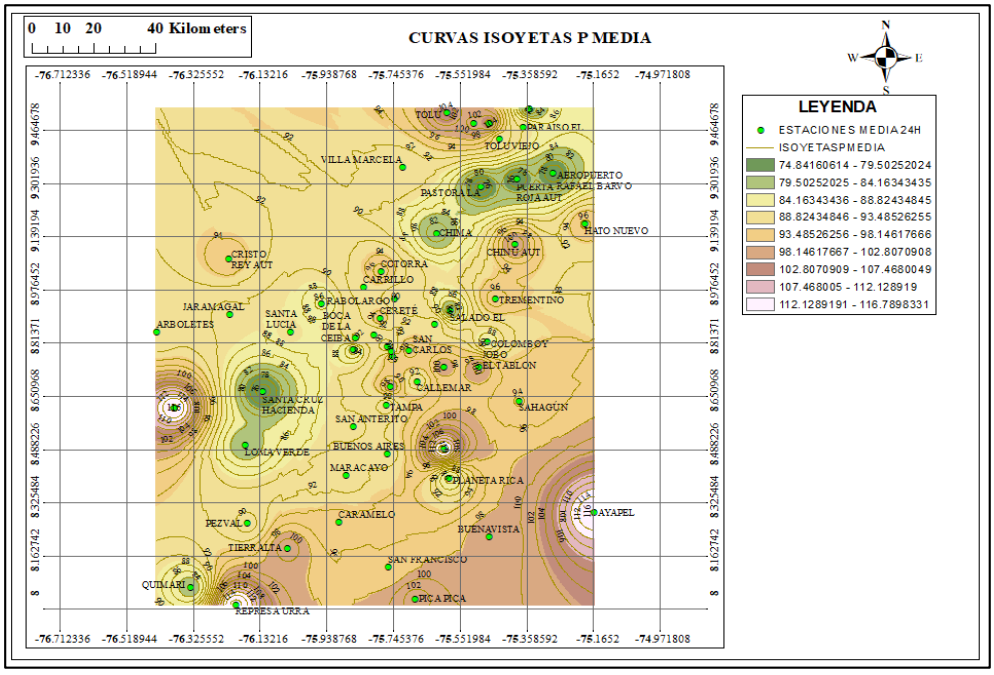
Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Fuente: Tabla número 16 resolución 330 de 2017

Tabla 17 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema

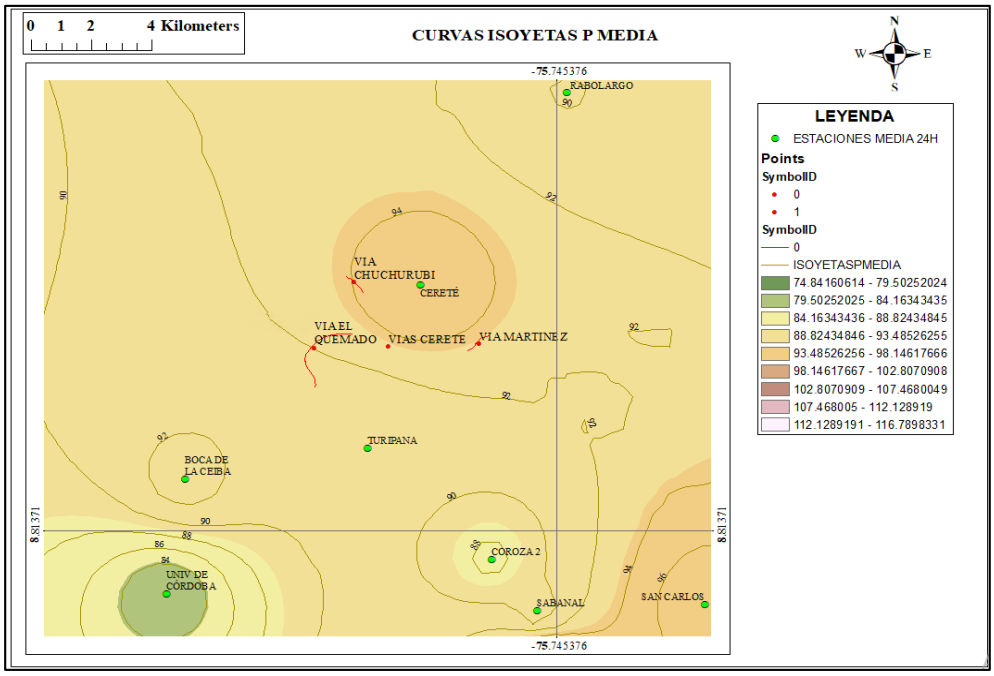
4.5. Cálculo de la precipitación media por el método de Isoyetas

Se define como curva o línea Isoyeta a la línea con igual precipitación, método que consiste en trazar las curvas Isoyetas mediante un proceso de interpolación que se realiza para hallar la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones meteorológicas. Para la ejecución de este proceso es necesario tener valores de precipitación de las estaciones meteorológicas con igual serie histórica de años, ver **tablas 10 y 11**. El cual desarrollaron con el software ARC-GIS 10 por el método de interpolación de IDW el cual presentó la mejor bondad de ajuste durante el análisis espacial



Fuente: ARC GIS.

Ilustración 13 Mapa Isoyetal asociado a la P Media general en 24 horas



Fuente: Google Earth.

Ilustración 14 Selección de precipitación media para el área del proyecto

En la **ilustración 13** se consigna el mapa isoyetal asociado a la P Media y en la **Ilustración 14**, se observa la precipitación media (P media 24 Horas) para el área de estudio.

4.6. Elaboración de curvas IDF

Las curvas IDF se definen como la representación gráfica de una intensidad de precipitación (mm/h) que puede variar durante la duración de una tormenta, para una duración en intervalos iguales en minutos o horas desde el inicio hasta el fin de la lluvia asociado a un periodo de retorno llamado frecuencia, aclarando este concepto una precipitación de 1/50 significa que es probable que se presente una vez cada 50 años (periodo de retorno). Las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia) se elaboran con información de precipitaciones obtenidas de estaciones meteorológicas, ya sea información de pluviogramas, pluviógrafos o mapas isoyetales y son de gran importancia para el diseño de estructuras hidráulicas ya que permiten calcular la intensidad de precipitación para un periodo de retorno.

Haciendo un análisis al comportamiento de las curvas IDF, se puede observar que a medida que disminuye el tiempo de concentración y aumenta el periodo de retorno, aumenta la intensidad de precipitación; variable que permite controlar una ocurrencia máxima en el momento de realizar el diseño de la estructura hidráulica, convirtiéndose en la línea extrema de inundación para un periodo de retorno alto y baja probabilidad de ocurrencia. Como no se cuenta con información de pluviogramas, para la elaboración de las curvas IDF se utilizó la ecuación sintética de Díaz- Granados para la región Caribe con sus respectivos coeficientes los cuales se describe en la **tabla 18.** En el **anexo 3** se encuentran los datos calculados y en la **gráfica 2** las curvas IDF asociadas a diferentes periodos de retorno. La ecuación mencionada se presenta a continuación.

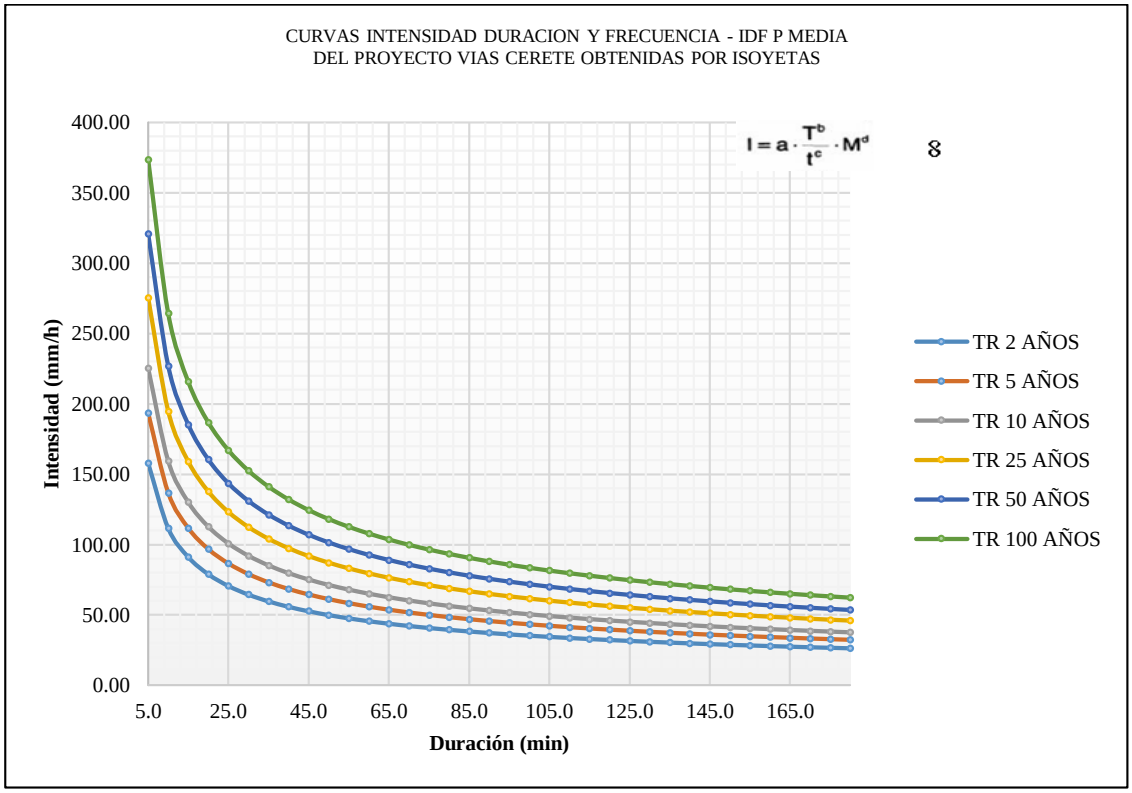
$$I = a\,\frac{T^b}{t^c}\,M^d \; Ec.(8) Diaz - Granados, Región\ Caribe \qquad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

I = Intensidad de precipitación. (mm/h)
T = Periodo de retorno (años)
t = Tiempo de duración (min)
M = Precipitación máxima en 24 horas (mm) valor hallado por Isoyetas

Region Caribe				
	a	**b**	**c**	**d**
EC.8	24.85	0.22	0.50	0.10

Fuente: Curvas IDF sintéticas Díaz-Granados
Tabla 18 Coeficientes para cálculo de curvas IDF sintéticas región Caribe



Fuente: Elaboración propia

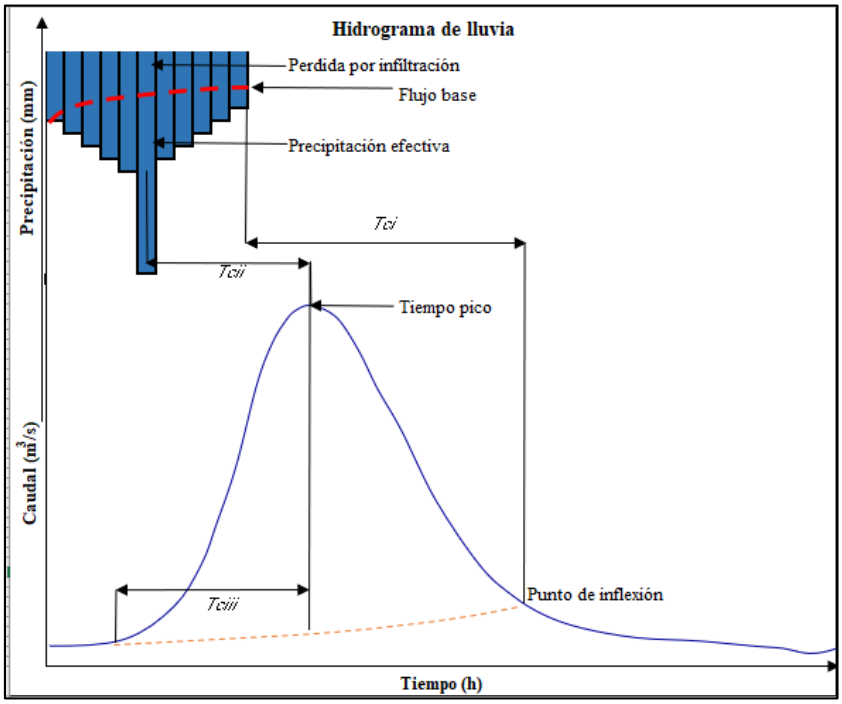
Grafica 2 Curvas IDF (Intensidad – Duración y Frecuencia)

4.7. Tormenta de diseño

El tiempo de duración de la lluvia o tormenta de diseño se convierte en una de las variables más sensibles a la hora de calcular la precipitación neta ya que con este tiempo se genera el hietograma de diseño para el cálculo de la precipitación neta y posteriormente la generación del hidrógrama de crecida. En la **ilustración 15,** se puede observar el comportamiento de un hidrógrama de crecida; este hidrógrama permite conocer después de iniciada la lluvia, el momento en que toda la escorrentía provocada por ese tiempo de duración de la lluvia expresada en precipitaciones ya ha pasado; y se encuentra en la curva de agotamiento. Dicho de otra forma, entre más dure la precipitación más tarda la cuenca en evacuar la escorrentía, son directamente proporcionales. Esta consultoría utilizo la metodología de probabilidad de excedencia para estimar el tiempo de duración de la lluvia de la zona de estudio. Para tal propósito se tomó como referencia la información de precipitación suministrada por el IDEAM en intervalos de 60 min, La información de la estación meteorológica utilizada se puede observar en la **tabla 19.**

Estación	ID IDEAM	Municipio	Coordenadas Geograficas		Altura SNMM	Periodo de funcionamiento		Corriente	Datos de analisis		Intervalo de tiempo (min)
			Latitud	Longitud		Inicio	Final		Desde	Hasta	
TREMENTINO	25020430	MONTERIA	8.7166°	75.666°	19	mar-2014	NA	CAÑO AGUAS PRIETA	01/06/2015	15/12/2017	10

Fuente: Elaboración propia
Tabla 19 Estación meteorológica de referencia minutal



Fuente: Elaboración propia
Ilustración 15 Esquema de un hidrógrama de crecida

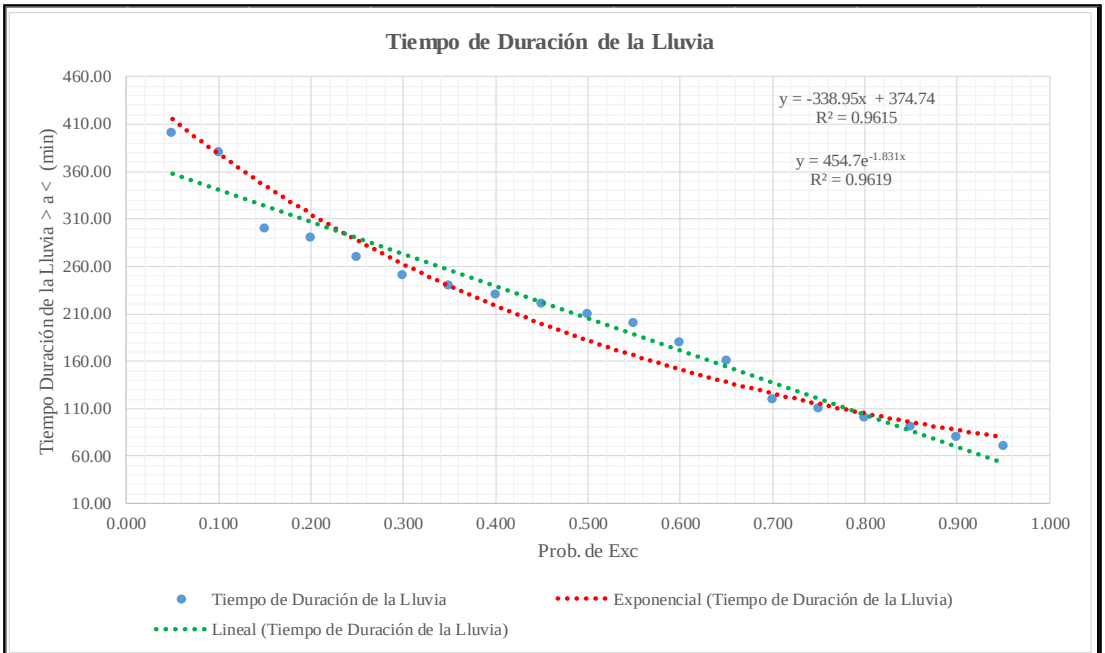
En la **Tabla 20** se puede observar los periodos seleccionados para el análisis de excedencia, el tiempo de duración de la lluvia y la precipitación medida en función de la duración del evento "información suministrada por el "IDEAM". Con la información obtenida se realiza un análisis de excedencia de duración de la lluvia, donde se calcula la probabilidad de excedencia; con este valor y el tiempo de duración de la lluvia, se genera una gráfica en la cual se proyectan dos líneas de tendencia y de las cuales se halla su respectiva ecuación, así posteriormente poder calcular el tiempo de duración de la lluvia para un Q75. Ver **grafica 3**.

Fecha de Precipitación	Precipitación Medida (mm)	Tiempo Duración de la Lluvia > a < (min)	Rango jerárquico promedio	Prob. De Exc.
21/09/2016 1:00	42.4	400	1	0.05

Fecha de Precipitación	Precipitación Medida (mm)	Tiempo Duración de la Lluvia > a < (min)	Rango jerárquico promedio	Prob. De Exc.
19/11/2016 17:20	35.14	380	2	0.1
24/06/2016 3:50	39.53	300	3	0.15
28/05/2017 17:00	65.19	290	4	0.2
16/04/2017 21:50	73.4	270	5	0.25
25/06/2016 15:20	53.08	250	6	0.3
26/08/2016 6:00	58.78	240	7	0.35
17/09/2015 5:20	34.88	230	8	0.4
12/09/2017 11:20	44.63	220	9	0.45
9/10/2015 3:50	23.84	210	10	0.5
12/06/2015 22:50	25.52	200	11	0.55
20/05/2017 5:20	32.85	180	12	0.6
14/08/2016 3:40	27.02	160	13	0.65
5/07/2017 18:10	43.86	120	14	0.7
10/04/2016 11:30	31.44	110	15	0.75
27/07/2015 3:50	49.22	100	16	0.8
19/07/2015 14:10	36.68	90	17	0.85
26/04/2017 4:20	25.94	80	18	0.9
29/10/2015 11:40	27.64	70	19	0.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Estación meteorológica de referencia minutal (Probabilidad de excedencia)



Calculo del tiempo de duración de la lluvia para una probabilidad de excedencia del 75%				
(Duración de la Lluvia)	K1	K2	X	Tipo de Tendencia
115.17	454.7	-1.831	0.75	Tiempo de duración de la lluvia (min) Tendencia Exponencial
120.53	-338.95	374.74	0.75	Tiempo de duración de la lluvia (min) Tendencia Lineal

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 Calculo del tiempo de duración de la lluvia

4.8. Hietograma de diseño

Los hietogramas de diseño permiten reflejar la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo de las horas más lluviosas asociadas para un periodo de retorno definido. Para desarrollar este método es necesario definir un periodo de retorno para un tiempo específico, en este caso se escoge un periodo de retorno de **5 años** en correlación con la información suministrada en el **numeral 4.4 y 25 años** para la realización del análisis de sensibilidad, con dichos periodos se confecciona un hietograma de lluvias asociado a un tiempo específico (tiempo de duración de la lluvia). **20 años** para el análisis de las estructuras tipo box culvert, **50 años** para la sensibilidad del box culverts.

Para generar el hietograma de diseño, es necesario conocer la intensidad de precipitación, para lo cual se utiliza los valores obtenidos en el **numeral 4.6.**

Conociendo el tiempo de duración del evento, se procede a generar los hietogramas de diseño; el método seleccionado es el de los bloques alternos para los periodos de retorno seleccionados. En las **Tablas 21, 22 , 23 y 24** se observa la distribución de la lluvia en intervalos de 5 min y en las **gráficas 4, 5, 6 y 7** el comportamiento del evento desde que inicia hasta que termina.

Hietograma de Diseño 5 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
5	193.24	0.08	16.10	16.10	1.63
10	136.64	0.17	22.77	6.67	1.70
15	111.57	0.25	27.89	5.12	1.78
20	96.62	0.33	32.21	4.31	1.87
25	86.42	0.42	36.01	3.80	1.98
30	78.89	0.50	39.44	3.44	2.11
35	73.04	0.58	42.61	3.16	2.28
40	68.32	0.67	45.55	2.94	2.49
45	64.41	0.75	48.31	2.76	2.76
50	61.11	0.83	50.92	2.61	3.16
55	58.26	0.92	53.41	2.49	3.80
60	55.78	1.00	55.78	2.37	5.12
65	53.60	1.08	58.06	2.28	16.10
70	51.65	1.17	60.25	2.19	6.67
75	49.89	1.25	62.37	2.11	4.31
80	48.31	1.33	64.41	2.05	3.44
85	46.87	1.42	66.40	1.98	2.94
90	45.55	1.50	68.32	1.92	2.61
95	44.33	1.58	70.19	1.87	2.37
100	43.21	1.67	72.02	1.82	2.19
105	42.17	1.75	73.79	1.78	2.05
110	41.20	1.83	75.53	1.74	1.92
115	40.29	1.92	77.23	1.70	1.82
120	39.44	2.00	78.89	1.66	1.74
125	38.65	2.08	80.52	1.63	1.66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 5 Años

Hietograma de Diseño 20 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
5	262.15	0.08	21.85	21.85	2.21
10	185.37	0.17	30.89	9.05	2.30
15	151.35	0.25	37.84	6.94	2.41
20	131.08	0.33	43.69	5.85	2.54
25	117.24	0.42	48.85	5.16	2.69
30	107.02	0.50	53.51	4.66	2.87

Hietograma de Diseño 20 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
35	99.08	0.58	57.80	4.29	3.09
40	92.68	0.67	61.79	3.99	3.37
45	87.38	0.75	65.54	3.75	3.75
50	82.90	0.83	69.08	3.55	4.29
55	79.04	0.92	72.45	3.37	5.16
60	75.68	1.00	75.68	3.22	6.94
65	72.71	1.08	78.77	3.09	21.85
70	70.06	1.17	81.74	2.97	9.05
75	67.69	1.25	84.61	2.87	5.85
80	65.54	1.33	87.38	2.77	4.66
85	63.58	1.42	90.07	2.69	3.99
90	61.79	1.50	92.68	2.61	3.55
95	60.14	1.58	95.22	2.54	3.22
100	58.62	1.67	97.70	2.47	2.97
105	57.21	1.75	100.11	2.41	2.77
110	55.89	1.83	102.47	2.36	2.61
115	54.66	1.92	104.77	2.30	2.47
120	53.51	2.00	107.02	2.25	2.36
125	52.43	2.08	109.23	2.21	2.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 20 Años

Hietograma de Diseño 25 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
5	275.34	0.08	22.95	22.95	2.32
10	194.70	0.17	32.45	9.50	2.42
15	158.97	0.25	39.74	7.29	2.53
20	137.67	0.33	45.89	6.15	2.67
25	123.14	0.42	51.31	5.42	2.82
30	112.41	0.50	56.20	4.90	3.01
35	104.07	0.58	60.71	4.50	3.25
40	97.35	0.67	64.90	4.19	3.54
45	91.78	0.75	68.84	3.94	3.94
50	87.07	0.83	72.56	3.72	4.50
55	83.02	0.92	76.10	3.54	5.42
60	79.48	1.00	79.48	3.38	7.29
65	76.37	1.08	82.73	3.25	22.95
70	73.59	1.17	85.85	3.12	9.50
75	71.09	1.25	88.87	3.01	6.15
80	68.84	1.33	91.78	2.91	4.90

Hietograma de Diseño 25 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
85	66.78	1.42	94.60	2.82	4.19
90	64.90	1.50	97.35	2.74	3.72
95	63.17	1.58	100.02	2.67	3.38
100	61.57	1.67	102.61	2.60	3.12
105	60.08	1.75	105.15	2.53	2.91
110	58.70	1.83	107.62	2.47	2.74
115	57.41	1.92	110.04	2.42	2.60
120	56.20	2.00	112.41	2.37	2.47
125	55.07	2.08	114.73	2.32	2.37

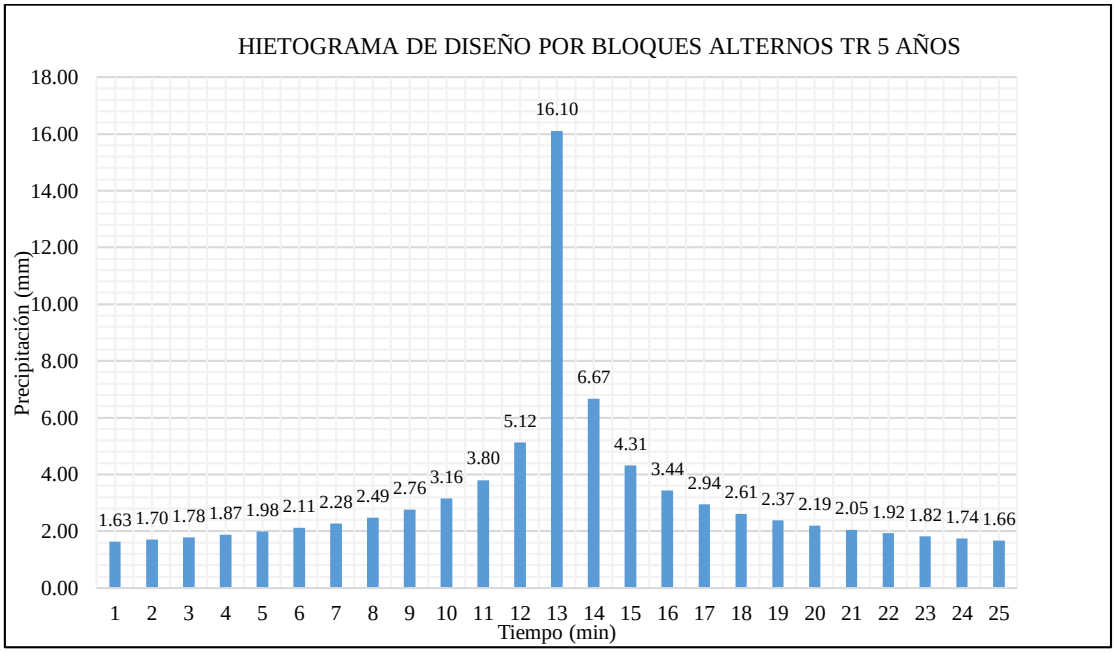
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 25 Años

Hietograma de Diseño 50 Años					
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**Tiempo (horas)**	**Precipitación (mm)**	**ΔP (mm)**	**Ordenamiento para hietograma**
5	320.70	0.08	26.72	26.72	2.70
10	226.77	0.17	37.79	11.07	2.82
15	185.16	0.25	46.29	8.49	2.95
20	160.35	0.33	53.45	7.16	3.11
25	143.42	0.42	59.76	6.31	3.29
30	130.92	0.50	65.46	5.70	3.51
35	121.21	0.58	70.71	5.25	3.78
40	113.38	0.67	75.59	4.88	4.12
45	106.90	0.75	80.17	4.59	4.59
50	101.41	0.83	84.51	4.34	5.25
55	96.69	0.92	88.64	4.12	6.31
60	92.58	1.00	92.58	3.94	8.49
65	88.95	1.08	96.36	3.78	26.72
70	85.71	1.17	100.00	3.64	11.07
75	82.80	1.25	103.50	3.51	7.16
80	80.17	1.33	106.90	3.39	5.70
85	77.78	1.42	110.19	3.29	4.88
90	75.59	1.50	113.38	3.19	4.34
95	73.57	1.58	116.49	3.11	3.94
100	71.71	1.67	119.52	3.03	3.64
105	69.98	1.75	122.47	2.95	3.39
110	68.37	1.83	125.35	2.88	3.19
115	66.87	1.92	128.17	2.82	3.03
120	65.46	2.00	130.92	2.76	2.88
125	64.14	2.08	133.62	2.70	2.76

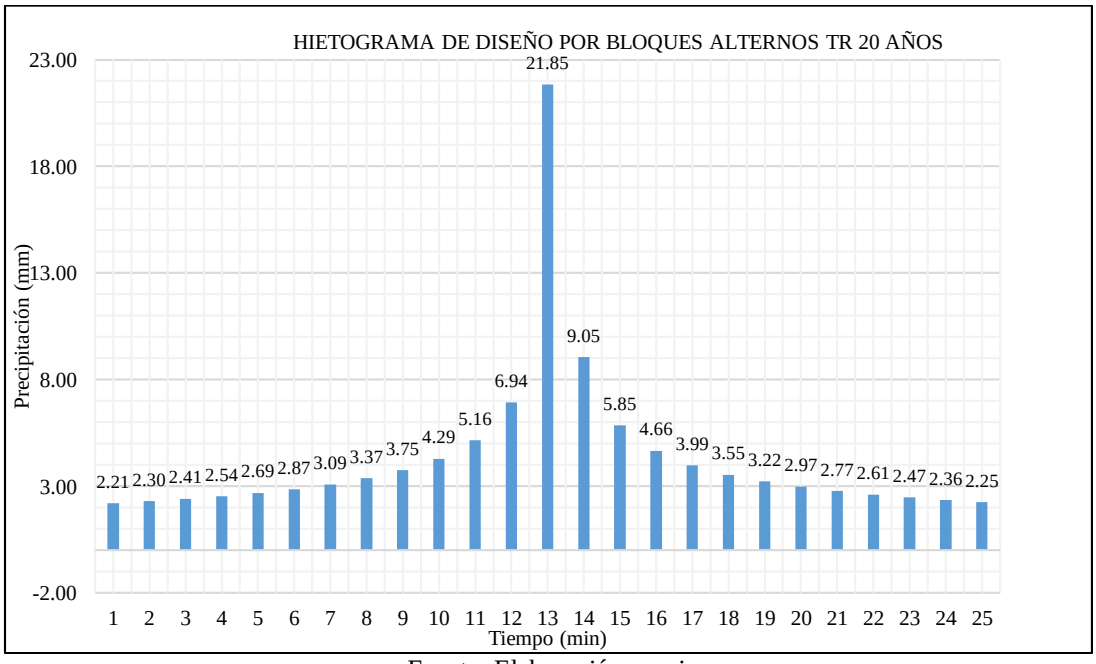
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Hietograma de diseño asociado a la duración de la lluvia y TR 50 Años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 4 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 5 Años



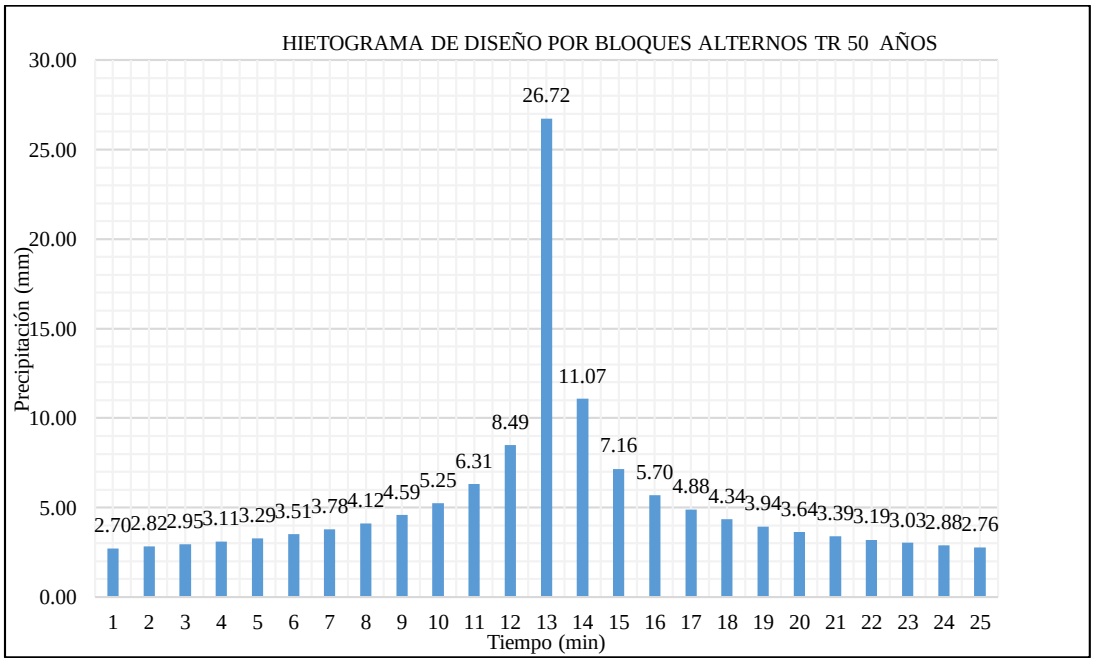
Fuente: Elaboración propia

Grafica 5 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 20 Años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 6 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 25 Años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 7 Hietograma de diseño por bloques alternos TR 50 Años

5. INVENTARIO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

En este capítulo se realizará un inventario físico de las estructuras existentes observando su estado actual, ubicación geográfica, abscisado y dimensiones, además se realizará un chequeo hidráulico para verificar su capacidad.

5.1. Valoración física de estructuras existentes

En este punto se estudia el estado físico de las estructuras existentes del presente proyecto, La **Tabla 25** hace referencia a las estructuras que se encontraron durante el levantamiento topográfico, en la tabla mencionada se observa la abscisa, nombre de la estructura, tipo de estructura, formato de estructura, coordenadas y estado actual de dichas estructuras**,** toda la información recolectada en campo, se encuentra en **anexo 4 Inventario Físico Estructuras Existentes,** donde se puede visualizar el registro que soporta la **Tabla 25**.

Via	Abscisa	Tipo de Estructura	Formato de Estructura	Coordenadas		Estado
				Norte	Este	
Via Martínez - Cerete	K1+211.12	Box Culvert	Simple	1472743,105	1143220,980	Estructura con fallas estructurales, presenta fisuras, se encuentra en mal estado físico, enterrada, estructuralmente desgastada, presenta sedimentos de desechos orgánicos y basura acumulada estancadas.
	K1+442.28	Box Culvert	Simple	1472674,688	1143428,435	Estructura con fallas estructurales, presenta fisuras, se encuentra en mal estado físico, enterrada, estructuralmente desgastada, presenta sedimentos de desechos orgánicos y basura acumulada estancadas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Resultado de inventario físico para estructuras existentes.

5.2. Valoración hidráulica de estructuras existentes

En este numeral se realizará una verificación de la capacidad hidráulica de las estructuras existentes. El análisis hidráulico se realiza asociando al caudal aportante según las áreas aferentes y el caudal según la capacidad de la estructura existente. Para aumentar la confiabilidad durante el chequeo hidráulico, se realizó un levantamiento topográfico del cual se obtuvo información de gran importancia para el análisis hidráulico, información como dimensiones de las estructuras, cotas a la entrada y salida, longitudes, abscisas, entre otras variables.

En la **Tabla 26** se presenta el calculó del caudal aportante (**Q aportante)** para cada estructura hidráulica mediante el modelo precipitación – escorrentía empleada en el **capítulo 7**, utilizando las áreas aferentes presentadas en la **ilustración 11**. Tal caudal fue comparado con la capacidad hidráulica en función del caudal que puede soportar cada una de las estructuras ya mencionadas (**Q capacidad)**, adicional se tuvieron en cuenta sus condiciones actuales, resultados descritos y de esta forma, se pudo determinar si actualmente su capacidad de drenaje es la adecuada. Ver **Tabla 26**.

En el **capítulo 8** se puede observar el análisis hidráulico y la determinación de las nuevas estructuras.

Via	Abscisa	Estruc. Hidráulica	Ancho (m)	Altura (m)	NMA (m)	Cota Entrada (m)	Cota Salida (m)	Pendiente (m/m)	Q capacidad (m3/s)	Q aportante (m3/s)	R (m)	Chequeo
Via Martínez - Cerete	K1+211.12	Box Culvert	1.00	1.00	9.30	8.88	8.82	0.010	2.228	0.169	0.326	Ok
	K1+442.28	Box Culvert	1.50	1.50	9.25	8.73	8.68	0.008	6.339	14.217	0.500	No Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Análisis hidráulico estructuras existentes.

5.3. Valoración espacial y geométrica de las estructuras existentes

En este ítem se realizó una verificación espacial y geométrica de las estructuras existentes en función de la morfométrica de las cuencas (cauce principal), puntos bajos y el diseño geométrico horizontal de la vía (ancho de calzada) respectivamente, encontrando las estructuras hidráulicas, cumplen con el ancho mínimo requerido y se encuentran centradas de acuerdo al trazado vial. En la **Tabla 27** se observa la identificación de las estructuras, abscisas y coordenadas.

Via	Estruc. Hidráulica	Abscisa	Coordenadas		Longitud (m)	Observación
			Norte	Este		
Via Martínez - Cerete	Box 1	K1+211.12	1472743,105	1143220,980	6.00	Estructura centrada
	Box 2	K1+442.28	1472674,688	1143428,435	6.00	Estructura no centrada

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Análisis espacial estructuras existentes

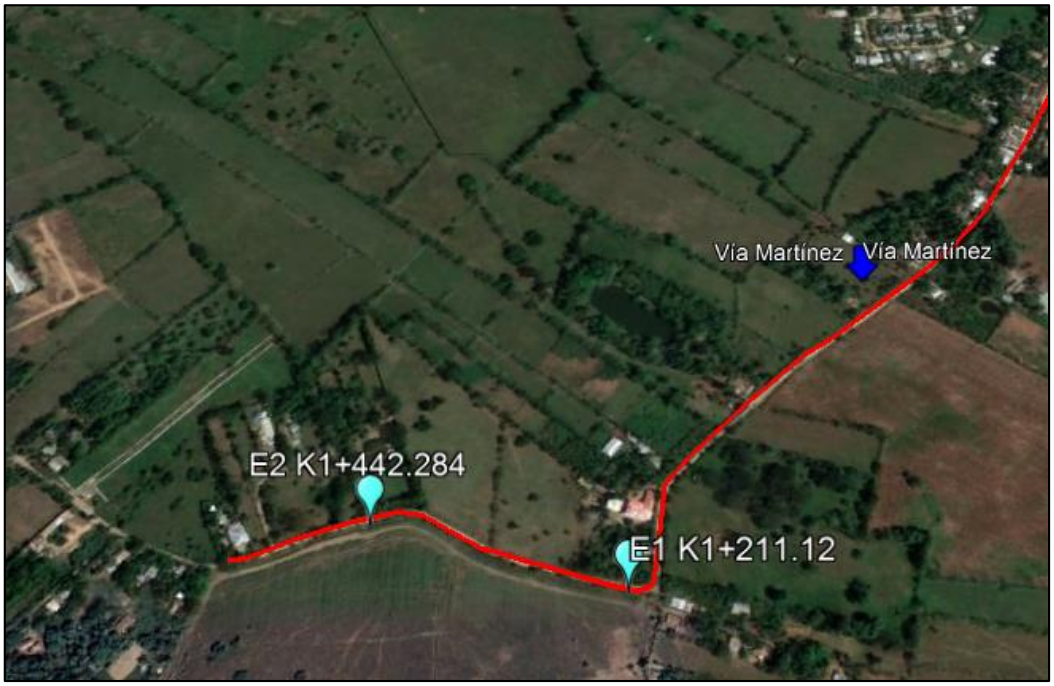
5.4. Resumen análisis de estructuras existentes

En este apartado se realizó una matriz de análisis de los resultados obtenidos en los **numerales 5.1, 5.2 y 5.3.** Con base en lo anterior, se obtiene el resultado final y la toma de decisiones en cuanto a las valoraciones ya realizadas, ver **Tabla 28**. En la **ilustración 16** se presentan la ubicación de la estructura existente.

Resumen Análisis de estructuras existentes					
Estruc. Hidráulica	Abscisa	Valoración Física	Valoración Hidráulica	Valoración Espacial	Resultado Final
Box Culvert 1	K1+211.12	No Cumple	Ok	Ok	A reemplazar
Box Culvert 2	K1+442.28	Cumple	No Cumple	No Cumple	A reemplazar

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Resumen análisis estructuras existentes



Fuente: Google Earth

Ilustración 16. Localización de estructuras hidráulicas existente.

6. PARÁMETROS PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Una vez realizado el análisis morfométrico y el análisis pluviométrico, se procede a definir las variables para la estimación de caudales. En este numeral, se definen los valores de los diferentes parámetros para el cálculo de caudal de escorrentía por el método racional.

6.1. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía C es la variable más sensible en la aplicación del método racional ya que incide en la tasa de escorrentía pico en relación con la tasa de lluvia para el área de drenaje. Los valores seleccionados se obtuvieron de la **tabla 31.**

La selección del coeficiente de escorrentía se realizó en función de la proyección, la cual se determina en función de las características de la superficie del área; el valor para la cobertura del suelo se obtiene de la **Tabla 29 y 30**, en donde se observa que el coeficiente de escorrentía está asociado al periodo de retorno para la vía y de las subcuencas.

Tramo de estudio	Caracteristicas de la Superficie	Coeficiente de escorentia	
		5 Años	25 Años
Via Cerete	Areas desarrolladas, Concreto / Techo	0.80	0.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Valores calculados del coeficiente de escorrentía para la vía

Tramo de Estudio	Tipo de Área de Drenaje	TR 20- 25 Años	TR 50 Años
		Coeficiente de Escorrentia	Coeficiente de Escorrentia
Via Cerete	Pastizales, planos; pendiente, 0 - 2%	0.34	0.37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Valores calculados del coeficiente de escorrentía para las cuencas

TABLA 15.1.1
Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

	Periodo de retorno (años)						
Característica de la superficie	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

Fuente: Tabla 15.1.1 Ven T Chow

Tabla 31 Valores de coeficiente de escorrentía referencia

6.2. Periodo de retorno

Con base a lo descrito en el **numeral 4.4 y** experiencia del consultor se hace la selección de los periodos retornos que serán empleados en este proyecto. Seleccionando un periodo de retorno de **5 años** en correlación con la información suministrada para el análisis hidrológico e hidráulico de la vía **y 25 años** para la realización del análisis de sensibilidad. En cuantos a las estructuras hidráulicas tipo box culvert **20 años** para el diseño y **50 años** para la sensibilidad de las mismas.

6.3. Numero de Curva

El número de curva (CN) como un numero de curva adimensional que varían de $0 \leq CN \leq 100$ en donde se tiene en cuenta la descripción del uso de suelo o cobertura y la textura del mismo en función del grupo hidrológico del suelo que varían de A hasta D, ver **Tabla 32 e ilustración 17**.

Grupo hidrológico de suelo	Textura del suelo
A	Arena, arena margosa o marga arenosa (capacidad de infiltración mayor a 7,62 mm/h)
B	Limo margoso o marga (capacidad de infiltración de 3,81 a 7,62 mm/h)
C	Margas arcillo arenosas (capacidad de infiltración de 1,27 a 3,81 mm/h)
D	Marga arcillosa, marga arcillo limosa, arcilla arenosa, arcilla limosa o arcilla (capacidad de infiltración de 0 a 1,27 mm/h)

Fuente: Tabla D.4.4 Titulo D, RAS
Ilustración 17 Grupo hidrológico del suelo según el SCS, RAS

Tipo de cobertura y condición hidrológica		Área impermeable promedio	Números de curva para cada tipo de suelos			
			A	B	C	D
Espacios abiertos	Cobertura pobre (cobertura de pastos < 50%)		68	79	86	89
	Cobertura parcial (cobertura de pastos de 50% a 75%)		49	69	79	84
	Cobertura buena (cobertura de pastos > 75%)		39	61	74	80
Áreas impermeables	Parqueaderos, techos, zonas pavimentadas, entre otros.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Andenes pavimentados y sumideros		98	98	98	98
	Zanjas o diques pavimentados		83	89	92	93
	Zona cubierta de gravas		76	85	89	91
	Zona cubierta de arenas o polvo		72	82	87	89
Zonas urbanas	Zonas comerciales y de negocios	85%	89	92	94	95
	Zona industrial	72%	81	88	91	93
Zonas residenciales (por tamaño del lote)	500 m2 o menos	65%	77	85	90	92
	1000 m2	38%	61	75	83	87
	1350 m2	30%	57	72	81	86
	2000 m2	25%	54	70	80	85
	4000 m2	20%	51	68	79	84
	8000 m2	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas permeables en desarrollo y sin vegetación			77	86	91	94

Fuente: Tabla D.4.5 Titulo D, RAS
Tabla 32 Valores de número de curva referencia

Para la selección del grupo hidrológico, esta consultoría también considera los parámetros propuestos en el **numeral 4.8.2.2** del libro (Hidrología en la Ingeniería, 2da Edición) de German Monsalve. Las características de control se muestran en la **ilustración 18.**

Para el cálculo del número de curva, inicialmente se define la cobertura del suelo como se muestra en la **tabla 33**. Posteriormente, para definir el grupo hidrológico del suelo, esta consultoría se apoya en los datos abiertos que se encuentran en la página del IGAC: https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-agrologia, de donde se puede extraer un archivo Shapefile con las características de textura del suelo, el cual se superpone con la ubicación de la zona de estudio y así clasificar el grupo hidrológico de la cuenca.

Grupo Hidrologico del Suelo	Textura del Suelo
A	(Bajo potencia de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración aun cuando estén muy húmedos. Consisten de arenas o gravas profundas bien y excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	(Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
C	(Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o alkali, o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).
D	(Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente, suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o alkali, y suelos pocos profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión de agua muy lenta.

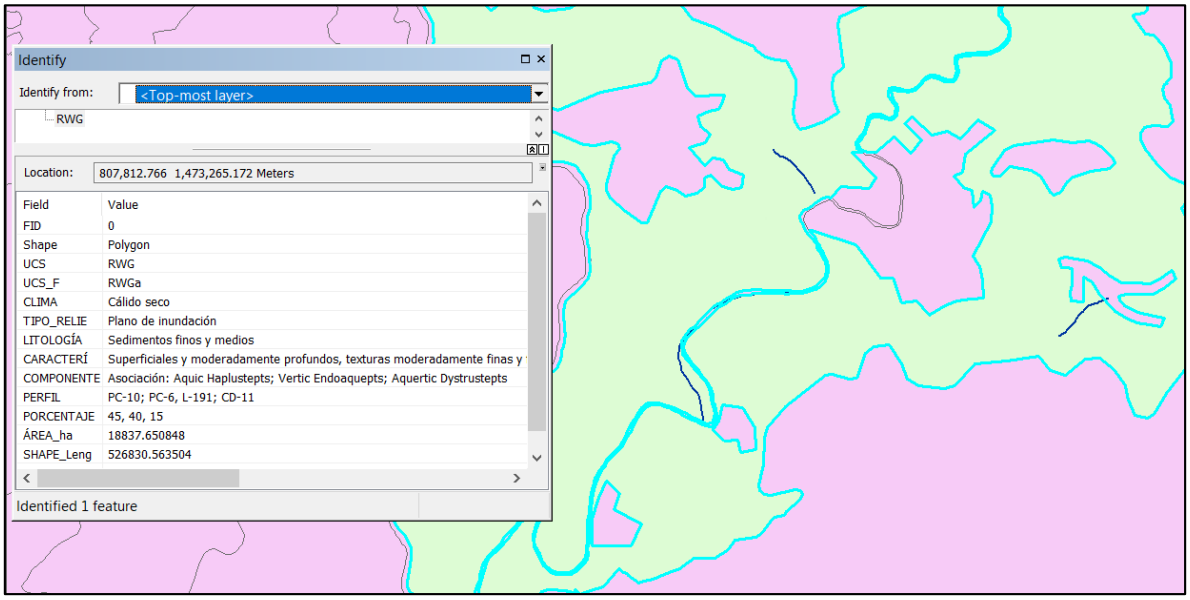
Fuente: Numeral 4.8.2.2, Hidrología en la Ingeniería 2da edición, German Monsalve.
Ilustración 18 Grupo hidrológico del suelo según el SCS. G. Monsalve

SUELO	I	GRUPO
UCS	RWG	B
UCS_F	RWGA	
TIPO RELIEVE	Plano de inundación	
CLIMA	Cálido seco	

SUELO	I	GRUPO
CARACTERÍSTICAS	Superficiales y moderadamente profundos, texturas moderadamente finas y finas, susceptibles a inundaciones y encharcamientos ocasionales, drenaje natural imperfecto a pobre, fertilidad baja a alta	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Selección del grupo hidrológico de la cuenca.



Fuente: ARC-GIS.

Ilustración 19 Identificación de suelos superpuestos en la cuenca de las vías del municipio de cerete

Para el cálculo del número de curva, inicialmente se define el tipo cobertura del suelo y la condición hidrológica**.** Posteriormente, se define el grupo hidrológico del suelo bajo la consideración que toda el área aportante de las cuencas urbanas para el análisis de la vía son impermeables o lo serán en poco tiempo por el desarrollo urbanístico que se da en las zonas urbanas municipales ver **tabla 29.** Para el área de las subcuencas se utiliza la cobertura pastizales planos**.** Bajo la anterior consideración, el número de curva obtenido se presenta en la **tabla 34 y 35**.

Tramo de estudio	Tipo de Cobertura y Condición Hidrológica	Numero de Curva
Vía Cerete	Áreas impermeables, parqueaderos, techos, zonas pavimentadas, entre otras.	98

Fuente: Elaboración propia
Tabla 34 Valores de número de curva calculados para la via

Tramo de estudio	Tipo de Cobertura y Condición Hidrológica	Numero de Curva
Vías Cerete - Montería	Pastizales condiciones óptimas.	61

Fuente: Elaboración propia
Tabla 35 Valores de número de curva calculados para las cuencas

6.4. Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad se selecciona en función de la cobertura del suelo y se toma como referencia de los valores establecidos en la **tabla 36 y 37**. El valor seleccionado es:

i. ***0.016*** *para el cálculo del tiempo de concentración de las vías*

ii. ***0.040*** *para el análisis de las cuencas hidrográficas.*

iii. ***0.020*** *para el análisis hidráulico de las estructuras (Box Culverts)*

Tabla 10.1
Coeficiente de rugosidad de Manning para pavimentos y cunetas[1,18]

Tipo de cuneta o pavimento	Coeficiente de Manning (*n*)
Cuneta en concreto liso	0.012
Pavimento asfáltico	
Textura suave	0,013
Textura áspera	0,016
Cuneta en asfalto	
Suave	0,013
Áspero	0,015
Pavimento rígido	
Terminado con llana	0,014
Terminado con escoba	0,016
Revestimiento con adoquines	0,02
Cunetas con pequeñas pendientes longitudinales hasta del 2 % están sujetas a la acumulación de sedimentos; para estos casos, los valores de *n* indicados anteriormente se deben incrementar entre 0,002 y 0,005.	

Fuente: Tabla 10.1 Drenaje Urbano Elementos de diseño – Héctor Rodríguez
Tabla 36 Coeficiente de rugosidad de Manning para pavimentos y cunetas.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	**0.030**	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	**0.013**	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	**0.014**	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020

Fuente: Tabla 5.6 Diseño de estructuras hidráulicas Ven T-Chow
Tabla 37.Valores de coeficiente de rugosidad.

6.5. Tiempo de concentración

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

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

La estimación del Tc de las diferentes áreas de drenaje se calcula con el promedio de diferentes modelos utilizados para el cálculo de esta variable, las fórmulas utilizadas se observan en el **anexo 5**. Los parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc se pueden observar en la **tabla 38 y 40,** el valor calculado del Tc se consigna en las **tablas 39 y 41**. Si durante el proceso de cálculo del tiempo de concentración, el valor hallado es inferior a 10 min, se debe seleccionar **como mínimo 10 min** para no sobre estimar el valor de la intensidad de precipitación, ya que 10 min se considera el valor crítico del Tc. El cálculo del coeficiente de rugosidad (n) y la pendiente media del cauce principal, se presenta a continuación:

N° Alineamiento	Area de Drenaje	Abscisa Inicial	Abscisa Final	(Ls) Longitud Vial (m)	(Sc) Pendiente (m/m)	(A) Area Acumulada (m2)	(A) Area Acumulada (Km2)	(n) Coeficiente Rugosidad	.(C) Coeficiente Escorrentia	(i) Intensidad Precipitación (mm/h)	(P2) Pmax 24h TR 2 Años (mm)
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+160.00	160.00	0.0027	960.00	0.00096	0.016	0.800	111.700	94.203
	A1-2	K0+160.00	K1+240.00	1080.00	0.0020	6480.00	0.00648	0.016	0.800	111.700	94.203
	A1-3	K1+240.00	K1+560.00	320	0.0059	1920	0.00192	0.016	0.800	111.700	94.203

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38 Parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc para la vía

Area Aportantes	Kirpich (1940)	Millers (1951)	Kerby (1959)	Carter (1961)	FAA (1970)	McCuen (1984)	NRSC (1986)	TxDOT (1994)	Papadakis - Kazan (1987 - 2010)	Sheridan (1994 - 2010)	Ventura - Heras (2013)	Tc Seleccionado (min)	Tlag (min)
A1-1	9	3	9	12	6	9	15	19	6	6	6	15	9
A1-2	47	6	23	40	17	29	118	55	18	38	26	38	23
A1-3	12	3	10	14	6	12	23	21	7	9	8	15	9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39 Cálculo del Tiempo de concentración (Tc) y Tiempo de retardo (Tlag) Intensidad de precipitación para la vía

Área	(Lc) Trayectoria de flujo, 10-85 (m)	(Sc) Trayectoria Flujo, 10-85 (m/m)	(ΔH) Δ de Elevación (m)	(A) Area de la Cuenca (m2)	(A) Area Cauce (Km2)	(D) Ø Cuenca Circular (km)	(Lc) Distancia a Centroide (m)
Sub_1	1267.93	0.00079	1.00	429700.00	0.43	0.74	670.60
Sub_3	715.69	0.00140	1.00	216200.00	0.22	0.52	403.74
Sub_4	1364.62	0.00366	4.99	611700.00	0.61	0.88	827.77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 Parámetros morfométricos y pluviométricos para el cálculo del Tc para las cuencas

Área	Kirpich (1940)	Johnstone y Cross (1949)	California Culvert (1960)	Dpto Obras Publicas (1995)	Williams - Li y Chibber (2008)	Sabol Montañoso (2008)	Ventura - Heras (2013)	Tc Selec (min)	Tlag (min)
Sub_1	75	131	75	75	83	110	35	83	50
Sub_3	39	74	39	39	45	70	20	46	28
Sub_4	44	63	44	44	64	90	27	54	32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Cálculo del Tiempo de concentración (Tc) y Tiempo de retardo (Tlag) para las cuencas

La intensidad de precipitación se define como la tasa promedio de lluvia en (mm/h) para una cuenca o microcuenca de drenaje, se define de manera particular para cada área y se selecciona con base en la selección de la lluvia de diseño para un periodo de retorno específico. En este caso particular, la selección de la intensidad de precipitación será calculada de la ecuación sintética de Díaz-Granados presentada en el **numeral 4.6 (ecuación 2).**

El tiempo de duración de la **ecuación 2** ***(t),*** se extrae del tiempo de concentración estimado y seleccionado en las **tablas 39 y 41.** Otra forma de calcular la intensidad de precipitación es ingresando a la **gráfica 1** a la curva con el periodo de retorno especificado y el tiempo de concentración. En la **tabla 42 y 43.** se puede observar la intensidad de precipitación calculada para el área de drenaje.

N° Alineamiento	Tc (Horas)	Intensidad de Precipitación (mm/h)	
		TR 5 Años	TR 25 Años
Alineamiento 1	0.25	111.57	158.97
	0.63	70.10	99.88
	0.25	111.57	158.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42 Cálculo de la intensidad de precipitación para la vía

Area No	Intensidad de Precipitación (mm/h)	
	TR 20 Años	TR 50 Años
Área 1	185.37	226.77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43 Cálculo de la intensidad de precipitación para las subcuencas

7. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

En este capítulo se realizó la estimación de caudales por el método racional y numero de curvas, en el primer método se usó un modelo de lluvia-escorrentía de las cuencas estudiadas, este método es aplicable a cuencas menores a 80ha, se calcula el caudal por el modelo de infiltración SCS (servicio de conservación de suelo de los Estados Unido). Este procedimiento usa un modelo de precipitación efectiva por un evento de lluvia, asignando un numero de curva dependiendo el tipo de suelo donde se encuentre el área de estudio. Esta consideración se aplicó para las cuencas que excedían un área de 80 ha, consiguiendo así un valor más acertado en relación a la dimensión del punto estudiado.

Para la estimación del caudal por el método racional se debe emplear la **ecuación 3**. El método racional es un método de estimación de caudales modelo lluvia-escorrentía basado en modelos de abstracción con un raciocinio simple el cual es útil en cuencas menores de 80Ha como se menciona en el artículo 135 de la resolución 0330 de 2017.

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \qquad EC\ 3$$

Donde

Q = Caudal de escorrentía en (m3/s).
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de precipitación en (mm/h).

A = Área de la cuenca en (Ha).

Como principio para el análisis de la red de drenaje, se considera que las escorrentías superficiales se desplazaran por la vía que funcionan como un canal abierto.

Para la modelación hidráulica, es necesario calcular el caudal de escorrentía en función de las variables obtenidas en los anteriores numerales**.** En la **Tabla 44 y 45**, se puede observar el cálculo de caudal por el método racional de los diferentes tramos viales para los tiempos de retorno seleccionados.

N° Alineamiento	Area Aportantes	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Area de Drenaje (Ha)	Caudal Unitario (M3/S)	
					TR 5 Años	TR 25 Años
Alineamiento 1	A1-1	K0+000.00	K0+160.00	0.096	0.0238	0.0373
	A1-2	K0+160.00	K1+240.00	0.648	0.1009	0.1582
	A1-3	K1+240.00	K1+560.00	0.192	0.0476	0.0746

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44 Calculo de caudales por el método racional para las vías

Area No	Area de Drenaje (Ha)	Caudal Unitario (M3/S)	
		TR 20 Años	TR 50 Años
Área 1	0.87	0.152	0.202

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45 Calculo de caudales por el método racional para las subcuencas

7.1. Estimación del caudal por el modelo de infiltración SCS (NRCS)

Modelo desarrollado el SCS (Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos). Este modelo permite determinar la precipitación efectiva producida por un evento de lluvia. Este método asigna un número de curva para cada tipo de suelo dependiendo de sus características de permeabilidad. El cálculo del caudal de escorrentía directa se puede realizar como se muestra a continuación en la **ecuación 4.**

$$P = \frac{(P_t - 0.2S)^2}{(P_t - 0.8S)} \qquad EC\ 4$$

El valor de retención potencial maxima (S) se puede calcular utilizando la siguiente expresión. **Ecuacion 5.**

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad EC\ 5$$

Donde
P = Profundidad de precipitación efectiva (m)
S= Retención potencial máxima (m)
P_t = Profundidad de precipitación total (m).
CN = Valor del número de curva

La aplicación de esta metodología se encuentra consignada en el software HEC-HMS, el cual será explicado en el siguiente numeral.

7.2. Estimación del caudal con HEC-HMS usando el modelo del SCS (NRCS)

El software HEC-HMS fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos, permite calcular el caudal de escorrentía y generar el hidrógrama de lluvia donde se puede observar el caudal pico y el tránsito de duración de la lluvia. Para hacer uso del software es necesario contar con los siguientes datos:

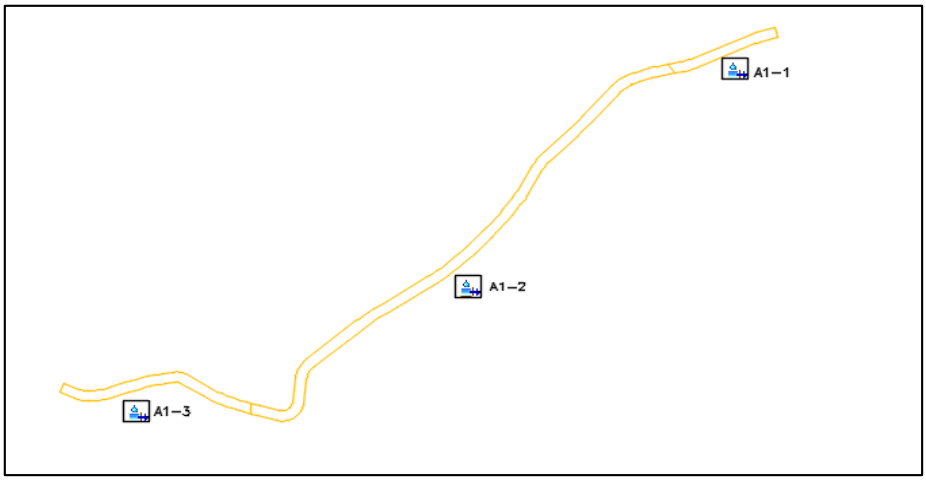
- ✓ *Hietograma de diseño en función de la duración de la lluvia.*
- ✓ *Numero de curva seleccionado.*
- ✓ *Tiempo de retardo (Lag Time) (min).*
- ✓ *Área de la cuenca en (km2).*
- ✓ *Selección del método de estimación de pérdida. (SCS Curver Number)*
- ✓ *Método de transformación (SCS Unit Hydrograph)*

El HEC-HMS es un sistema de modelación hidrológica desarrollado para estimar el caudal de escorrentía, volumen de agua en función del caudal generado por la lluvia y permite generar el hidrógrama de lluvia de salida de una cuenca o varias microcuencas, estimando caudales pico y tiempos picos para condiciones de lluvia extrema en un día. Una de las ventajas de este método es que la perdida por infiltración se realiza con el método del número de curva del cual se mencionó anteriormente que no solo considera la cobertura del suelo, sino que también considera la textura del mismo. Este programa se deriva directamente del HEC-1, conservando en esencia su filosofía.

Para la modelación hidráulica, es necesario calcular el caudal de escorrentía en función de las variables definidas en los numerales anteriores**.** En las **Tablas 21, 22, 23 y 24** los hietogramas de diseño asociado al tiempo de duración de la lluvia, en la **tabla 34 y 35** se puede observar el valor del número de curva, en la **Tabla 39 y 41**, se puede observar el valor del tiempo de retardo para la cuenca (Tlag), en la **Tabla 38 y 40** se puede observar el valor de las áreas aferente.

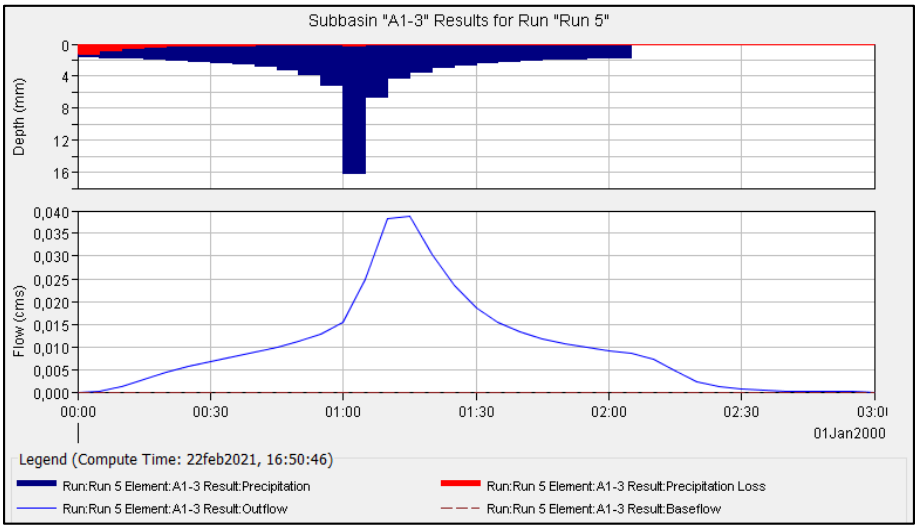
En la **Ilustración 20**, se puede observar las diferentes áreas que compone la cuenca hidrográfica, adicional se puede observar la disposición de subcuencas y conexiones para la estimación del caudal de escorrentía. En la **Ilustración 21** se observa el hidrógrama de lluvia de la cuenca **A1-3** para un TR de **5 años**, los demás Hidrogramas de crecida serán consignados en el **anexo 6**.

Cabe resaltar que los Hidrogramas de crecida nos permiten representar gráficamente la duración de la lluvia desde el momento de inicio del evento hasta llegar al caudal pico el cual representa el mayor riesgo hidráulico, por consiguiente, es el valor utilizado para el diseño de estas estructuras. En el eje de las ordenadas se puede ver representada la distribución de caudales de escorrentía y en el eje de las abscisas el tiempo de duración de la lluvia. El área bajo la curva representa el volumen de agua que no es más que un producto de la distribución del caudal por el tiempo de duración de la lluvia; dicho de otra forma, un hidrógrama es la representación gráfica de $Q = f(t)$. Adicional, la **Ilustración 21** permite evidenciar la perdida de precipitación por infiltración y la precipitación efectiva en escorrentía superficial.



Fuente: Software HEC-HMS

Ilustración 20 Disposición de áreas de drenaje proyectadas en HEC-HMS de la vía



Fuente: HEC-HMS

Ilustración 21 Hidrogramas de crecida TR 5 Años para el área A1-3.

En la **Tabla 46 y 47 se** puede observar el caudal calculado por el método número de curva para las áreas aferentes de la vía y la sub cuenca A-1. para el área de subcuencas A-2 está en el capítulo tránsito de avenida.

Calculo de Caudal Método Numero de Curva							
A N°	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Area Aportantes	Area (m2)	Area de Drenaje (km2)	Caudal Unitario (M3/S)	
						TR 5 Años	TR 25 Años
Alineamiento 1	K0+000.00	K0+160.00	A1-1	960.00	0.00096	0.026	0.038
	K0+160.00	K1+240.00	A1-2	6480.00	0.00648	0.122	0.176
	K1+240.00	K1+560.00	A1-3	1920.00	0.00192	0.053	0.076

Fuente: Software HEC-HMS - (Elaboración propia)
Tabla 46 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para la vía

Calculo de Caudal Método Numero de Curva						
A N°	Area Aportantes	Abscisa de la Estructura	Area (m2)	Area de Drenaje (km2)	Caudal Unitario (M3/S)	
					TR 25 Años	TR 50 Años
Alineamiento 1	Área 1	K1+211.12	8682.00	0.00868	0.186	0.254

Fuente: Software HEC-HMS - (Elaboración propia)
Tabla 47 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para las subcuencas

7.3.Selección del caudal de escorrentía

Una vez estimado el caudal de escorrentía por el método racional y por el modelo de infiltración del SCS (NRCS) con el software HEC-HMS, se genera un cuadro comparativo de caudales para la selección de caudales para cada zona o área aferente. En las **Tablas de la 48 a la51** permite observar la similitud en el cálculo de caudales por los dos métodos por lo cual se genera un promedio de caudales. Aquí se puede observar la selección del caudal para las áreas aferentes de la vía y la sub cuenca A-1. para el área de subcuencas A-2 la selección del caudal está en el capítulo tránsito de avenida.

A N°	Area Aportantes	Area (Ha)	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Método Racional	Numero de Curva	Caudal Seleccionado TR 5 Años (m3/s)
					Caudal Unitario (M3/S)	Caudal Unitario (M3/S)	
Alineamiento 1	A1-1	0.0960	K0+000.00	K0+160.00	0.024	0.026	0.025
	A1-2	0.4503	K0+160.00	K0+910.57	0.080	0.098	0.089

Fuente: Elaboración propia
Tabla 48 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 5 años para la vía

Area Aportantes	Area (Ha)	Método Racional	Numero de Curva	Caudal Seleccionado TR 20 Años (m3/s)
		Caudal Unitario (M3/S)	Caudal Unitario (M3/S)	
Área 1	0.8682	0.152	0.186	0.169

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 20 años para la subcuenca

A N°	Area Aportantes	Area (Ha)	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Método Racional	Numero de Curva	Caudal Seleccionado TR 25 Años (m3/s)
					Caudal Unitario (M3/S)	Caudal Unitario (M3/S)	
Alineamiento 1	A1-1	0.0960	K0+000.00	K0+160.00	0.037	0.038	0.038
	A1-2	0.4503	K0+160.00	K0+910.57	0.126	0.141	0.133

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 25 años para la vía

Area Aportantes	Area (Ha)	Método Racional	Numero de Curva	Caudal Seleccionado TR 50 Años (m3/s)
		Caudal Unitario (M3/S)	Caudal Unitario (M3/S)	
A1-1	0.8682	0.202	0.254	0.228

Fuente: Elaboración propia

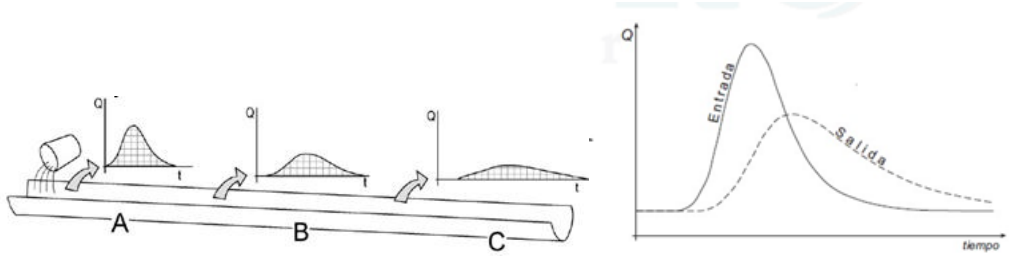
Tabla 51 Selección caudales de diseño del proyecto para un TR 50 años para la subcuenca

8. TRANSITO DE AVENIDAS

En este capítulo de aplica la teoría del tránsito de avenida, fenómeno que sucede en una cuenca que tiene un cauce principal ante un evento pluvial generando así una cantidad de escorrentía, es decir, un hidrógrama que transita hasta el punto de salida, donde muestra un aumento de atenuación y retardo, debido a las condiciones topográficas variables en entrada y salida. En este caso se aplica la el **Area 2 de las subcuencas.**

Es decir, el hidrógrama observado en A, al transitar y llegar al punto B tienen a mostrar mayor atenuación y retardo; similar desde B hasta C. El cálculo del tránsito de avenidas es obtener el hidrógrama de salida de una cuenca a partir de los datos de entrada. Para efectos prácticos es importante determinar la atenuación de un hidrógrama con pico definido para tomar medidas de prevención aguas abajo, similar a los sistemas de alerta temprana.

Esto se realiza en la cuenca del área debido a que las condiciones morfométricas lo amerita, la teoría es aplicada por medio de este método con el fin de atenuar el valor del caudal optimizando así el dimensionamiento de estructuras hidráulicas a emplear en tal cuenca.



El método de Muskingum se desarrolló en la década de 1930 en relación con el diseño de obras de protección contra inundaciones en la cuenca del río Muskingum, Ohio. (Servicio de Conservación de Muskingum). Se basa en la ecuación diferencial de almacenamiento:

$$I - O = \frac{dS}{dt} \qquad EC\ 6$$

Dónde:

I= flujo de entrada, O= flujo de salida,
ds/dt= almacenamiento.
En el método el almacenamiento es una función lineal del flujo de entrada y salida.

$$S = K[XI + (1 - X)O] \qquad EC\ 7$$

Dónde:

S= volumen almacenado,
K= coeficiente de almacenamiento (constante de tiempo)
X= factor de ponderación adimensional.
I y O en m3/s,
K en horas (m3/s-hr) o segundos (m3/s).

El tránsito de un tramo de cauce responde a la idea básica de un depósito lineal.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \qquad EC\ 8$$

Expresado en nivel 1 y 2:

$$S_1 = K[X I_1 + (1 - X) O_1]$$

$$S_2 = K[X I_2 + (1 - X) O_2]$$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \qquad EC\ 9$$

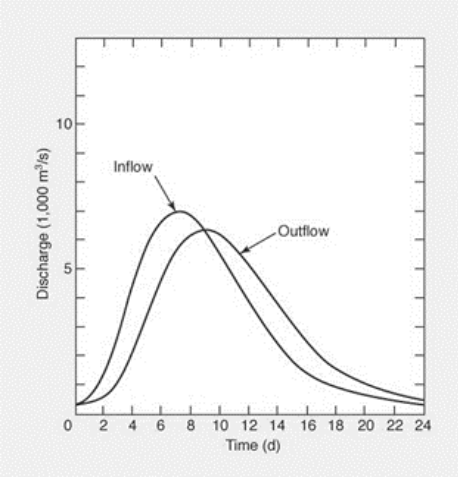
Dónde: C0, C1 y C2 con coeficientes de tránsito.

$$C_0 = \frac{(\Delta t / K) - 2X}{2(1 - X) + (\Delta t / K)}$$

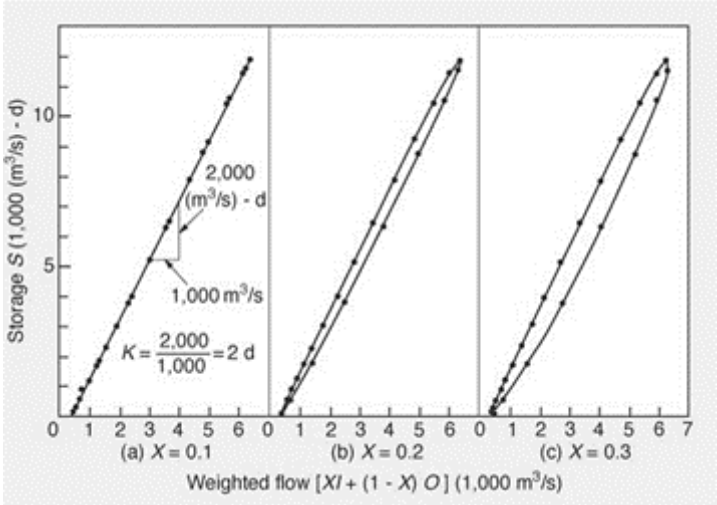
$$C_1 = \frac{(\Delta t / K) + 2X}{2(1 - X) + (\Delta t / K)}$$

$$C_2 = \frac{2(1 - X) - (\Delta t / K)}{2(1 - X) + (\Delta t / K)} \qquad EC\ 10$$

Dado un hidrógrama de flujo de entrada, una condición de flujo inicial, un intervalo de tiempo elegido At coeficientes de tránsito se pueden calcular. y los parámetros X y K, los



El parámetro K es una función de la longitud del alcance del canal y la velocidad de la onda de inundación; a la inversa, el parámetro X es función de las características del flujo y del canal que provocan la difusión de la escorrentía. Por lo tanto, K representa la parte de traslación (o concentración). Asimismo, X se restringe en el rango 0.0 <= X <= 0.5. Los valores de X superiores a 0,5 producen una amplificación del hidrógrama (es decir, difusión negativa), que no se corresponde con la realidad (según los números de Froude aplicables a los caudales de crecida).



Este procedimiento de hizo empleando el software HEC-HMS, donde se ingresa la morfométrica del área previamente delimitada como se explica en el **numeral 3** análisis morfométrico, El software HEC-HMS fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos, permite calcular el caudal de escorrentía y generar el hidrógrama de lluvia donde se puede observar el caudal pico y el tránsito de duración de la lluvia. Para hacer uso del software es necesario contar con los siguientes datos:

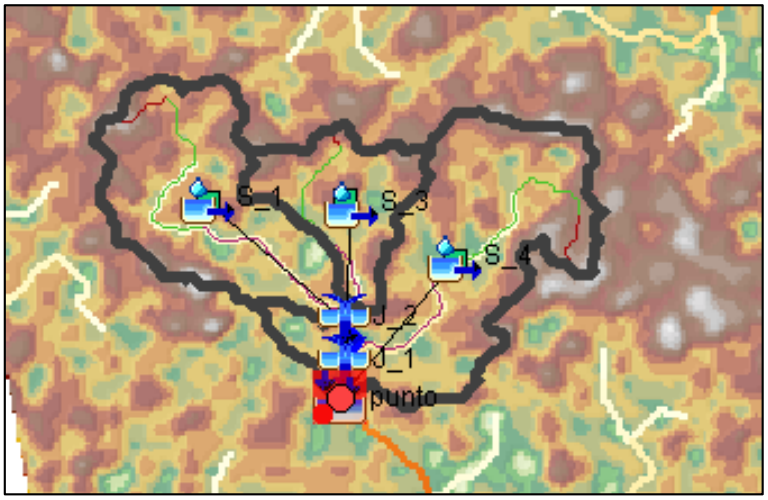
- ✓ *Hietograma de diseño en función de la duración de la lluvia.*
- ✓ *Numero de curva seleccionado.*
- ✓ *Tiempo de retardo (Lag Time) (min).*
- ✓ *Morfometría del área aferente.*

Luego de realizar el procedimiento se obtienen los siguientes resultados:

Reach	(Lc) Trayectoria de Reach (m)	(Sc) Pendiente (m/m)	(ΔH) Δ de Elevación (m)	Kirpich (1940)	Johnstone y Cross (1949)	California Culvert (1960)	Dpto Obras Publicas (1995)	Ventura - Heras (2013)	K (min)	K (hr)
Reach_2	191.42	0.00522	1.00	8	20	8	8	6	15	0.25
Reach_1	130.18	0.00000	0.00	169	1176	169	169	22	341	5.68

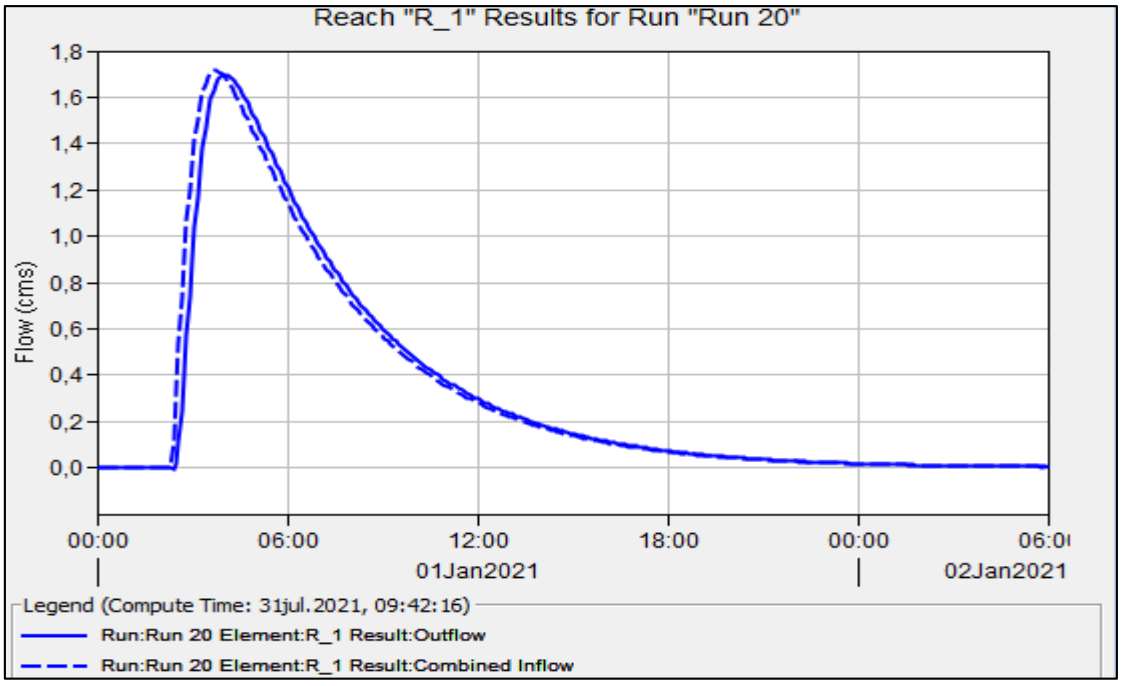
Fuente: Elaboración propia

Tabla 52 Cálculo de parámetros K Muskingum



Fuente: Software HEC-HMS
Ilustración 22 Drenaje de las subcuencas en HEC-HMS

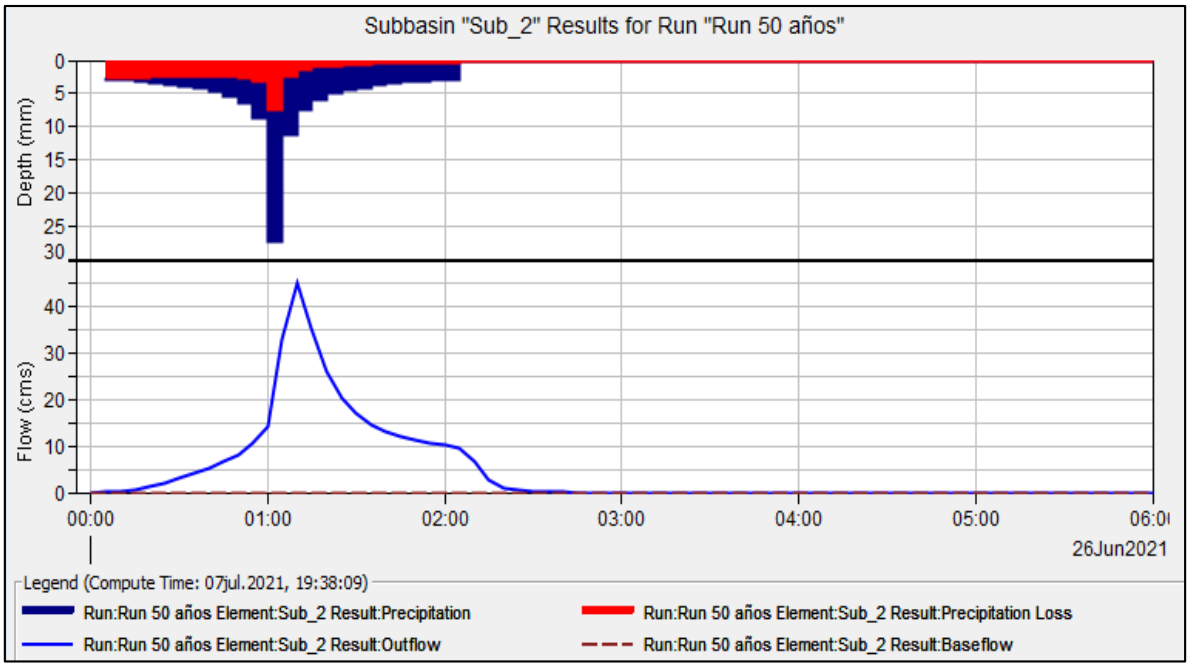
En la **Ilustración 23** se observa el hidrógrama de flujo para el el flujo.



Fuente: HEC-HMS
Ilustración 23 Hidrogramas de flujo TR 20 Años para el cauce 2.

En la **Ilustración 24** se observa el hidrógrama de lluvia del flujo 1 para un Tr de **20 años**, los demás Hidrogramas de crecida serán consignados en el **anexo 6**. Cabe resaltar que los Hidrogramas de crecida nos permiten representar gráficamente la duración de la lluvia desde el momento de inicio del evento hasta llegar al caudal pico el cual representa el mayor riesgo hidráulico, por consiguiente, es el valor utilizado para el diseño de estas estructuras.

En el eje de las ordenadas se puede ver representada la distribución de caudales de escorrentía y en el eje de las abscisas el tiempo de duración de la lluvia. El área bajo la curva representa el volumen de agua que no es más que un producto de la distribución del caudal por el tiempo de duración de la lluvia; dicho de otra forma, un hidrógrama es la representación gráfica de $Q = f(t)$. Adicional, la **Ilustración 24** permite evidenciar la perdida de precipitación por infiltración y la precipitación efectiva en escorrentía superficial.



Fuente: HEC-HMS

Ilustración 24 Hidrógrama de crecida TR 20 Años para la subcuenca 2

En la **Tabla 53** se puede observar el caudal que drenara por el área aferente una vez realizada la modelación hidrológica. El elemento llamado punto final es el que recibe la acumulación del caudal final, en la tabla se observa el valor para un **Tr de 20 y 50 años**.

Caudal por el Método Numero de Curva			
Elemento	**Area Parcial (km2)**	**Caudal Pico Tr 20 Años (m3/s)**	**Caudal Pico Tr 50 Años (m3/s)**
S_1	0.43	3.70	5.10

Caudal por el Método Numero de Curva			
Elemento	**Area Parcial (km2)**	**Caudal Pico Tr 20 Años (m3/s)**	**Caudal Pico Tr 50 Años (m3/s)**
S_3	0.22	2.50	3.50
J_2	0.65	5.60	7.70
R_2	0.65	1.70	2.40
J_1	0.65	1.70	2.40
R_1	0.65	1.70	2.30
S_4	0.61	6.60	9.10
Sink-1	1.26	6.60	9.10

Fuente: Software HEC-HMS - (Elaboración propia)

Tabla 53 Calculo de caudales modelo SCS (NRCS) para el área A-2 de la subcuenca para el análisis de las estructura.

9. ANÁLISIS, DIMENSIONAMIENTO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA

Una vez realizado el análisis hidrológico de la zona de estudio y calculado el caudal de escorrentía, se procede a realizar el análisis hidráulico de los tramos mencionados con el fin de garantizar el buen funcionamiento en función de la capacidad hidráulica de la sección transversal de la vía extraída del diseño geométrico. Adicional a lo mencionado, se analizará la necesidad de construir estructuras hidráulicas tipo sumideros, alcantarilla, box culvert o cárcamos con el fin de mitigar riesgos de inundación y se describirá cuáles serán las estructuras de descole o sitios donde evacuarán las escorrentías superficiales de la vía.

9.1. Variables fundamentales para el análisis hidráulico

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

Velocidad máxima permitida: Obedece a velocidades máximas permitidas para evitar que se presente el fenómeno de la erosión en el cuerpo de la cuenca. El control de velocidad se realiza en función del caudal de diseño obtenido durante la modelación hidráulica por medio de la siguiente **ecuación 11**. De lo anterior, la velocidad máxima permisible de los canales o áreas aportantes es 6 ft/s ≈ 1.80 m/s. y 10m/s dentro de la estructura.

$$V = \frac{1}{n} R(h)^{2/3} \sqrt{S} \qquad EC\ 11$$

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

Fuente: Tabla 4.2 Manual de drenaje vial INVIAS.
Tabla 54. Valores máximos de velocidades en canales revestidos.

Material	n	Agua limpia		Agua que transporta limos coloidales	
		V, pies/s	τ_0, lb/pie^2	V, pies/s	τ_0, lb/pie^2
Arena fina coloidal	0.020	1.50	0.027	2.50	0.075
Marga arenosa no colodial	0.020	1.75	0.037	2.50	0.075
Marga limosa no coloidal	0.020	2.00	0.048	3.00	0.11
Limos aluviales no colidales	0.020	2.00	0.048	3.50	0.15
Marga firme ordinaria	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Ceniza volcánica	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Arcilla rígida muy coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Limos aluviales colidales	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Esquistos y subsuelos de arcilla dura	0.025	6.00	0.67	6.00	0.67
Grava fina	0.020	2.50	0.075	5.00	0.32
Marga gradada a cantos rodados, no coloidales	0.030	3.75	0.38	5.00	0.66
Limos gradados a cantos rodados coloidales	0.030	4.00	0.43	5.50	0.80
Grava gruesa no coloidal	0.025	4.00	0.30	6.00	0.67
Cantos rodados y ripios de cantera	0.035	5.00	0.91	5.50	1.10

Fuente: Tabla 7.3 Hidráulica de Canales, Ven T Chow
Tabla 55. Valores máximos de velocidades en canales naturales.

Coeficiente de rugosidad: El coeficiente de rugosidad se selecciona en función del material de las paredes del canal, fue descrito en el **numeral 5.3** y se toma como referencia los valores establecidos en la **Tabla 17**.

Pendiente del tramo: La pendiente se selecciona del diseño vertical de la vía. Para el análisis hidráulico se seleccionan las pendientes de la topografía de zona de estudio, típicamente en zonas planas, la pendiente de diseño obedece a la diferencia de nivel de los dos extremos en relación con la distancia horizontal, pendiente expresada en **m/m** y varía según topografía. En los siguientes capítulos se observa la pendiente utilizada r esta consultoría para los diferentes puntos de estudio.

Caudal de diseño: El caudal de diseño se extrae del análisis hidrológico. Se trabaja con los valores determinados presentados en las **Tablas 24 y 25**. Análisis hidráulico de Box Culverts en HY8.

Una vez realizado el análisis hidrológico de la zona de estudio y calculado el caudal de escorrentía, se procede a realizar el análisis hidráulico de las estructuraras mencionadas con el fin de garantizar el buen funcionamiento de la vía y de sus estructuras hidráulicas.

9.2. Modelación hidráulica de estructuras diseñadas

El análisis hidráulico se elabora asociando al caudal de diseño y considerando un flujo normal de las escorrentías superficiales con la finalidad de que cumpla un buen funcionamiento hidráulico, esta modelación se lleva a cabo con el software HY-8. Para aumentar la confiabilidad durante el chequeo hidráulico, se realizó un levantamiento topográfico del cual se obtuvo información de mucha importancia para la modelación.

9.2.1. Parámetros de entrada para chequeo hidráulico de estructuras diseñadas.

Es necesario definir una serie de parámetros los cuales serán ingresados al software HY-8 el cual servirá para el chequeo de las estructuras hidráulicas, en la **Tabla 56** se presenta el chequeo de las estructuras a diseñar.

VARIABLES DE DISEÑO	ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN HY8	
Tipo de estructura	Box Culvert	Box Culvert
Abscisas de localización de estructuras	K1+211.12	K1+442.28 y K1+448.00
Caudal de diseño TR (Desing Flow) (m3/s)	0.169	6.600
Geometría del canal (Channel Type)	-	-
Ancho de la base del canal a la salida (Botton Width) (m)	2.00	2.00
Relación del talud del canal (Side Slope)	1.5H / 1.0V	1.5H / 1.0V
Pendiente del canal aguas abajo (Channel Slope) (m/m)	0.005	0.005
Coeficiente de rugosidad del canal (Mannig's Channel)	0.040	0.040
Cota a la salida de la estructura (Channel Invert Elevation) (msnm)	8.85	8.70
Abscisa de la estructura respecto a la vía (First Roadway Station)	K1+211.12	K1+442.28 y K1+448.00
Longitud de la cresta (Crest Leght) (m)	5.90	5.90
Cota de la corona de la vía (Crest Elevation) (msnm)	10.13	10.48
Material carpeta de la estructura (Roadway Suerface)	Paved	Paved
Ancho de la estructura sobre la vía (Top Width) (m)	5.90	5.90
Diametro (Diameter) (mm)	N/A	N/A
Ancho de la estructura (Span) (mm)	1000	1500
Altura de la estructura (Rise) (mm)	1000	1500
Coeficiente de rugosidad de la estructura(Mannin's)	0.02	0.02
Tipo de estructura (Culvert Type) = Side – Tapered	Box Culvert	Box Culvert
Angulo entre salida del agua y aleta (Tapered Inlet Edge) (26-45°)	45°	45°
Ancho final de aletas (Face Width) (mm)	3780	3780

VARIABLES DE DISEÑO	ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN HY8	
Talud de las aletas (Side Taper 4:1 to 6:1)	4.00	4.00
Abscisa a la entrada de la estructura (Inlet Station)	K0+000.00	K0+000.00
Cota a la entrada de la estructura (Inlet Elevation) (msnm)	8.88	8.73
Abscisa a la salida de la estructura (Outlet Station)	K0+005.90	K0+005.90
Cota a la salida de la estructura (Outlet Elevation) (msnm)	8.85	8.70
Numero de cajones (Number of Barrels)	1	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Parámetros necesarios para análisis en HY-8 de estructuras hidráulicas.

9.2.2. Análisis hidráulico de estructuras hidráulicas diseñadas.

Una vez identificados los parámetros para el chequeo de la capacidad hidráulica de las estructuras hidráulicas, se hace uso del software HY-8, donde se obtiene como resultado del análisis hidráulico los valores mostrados en la **Tabla 57**, en donde se evidencia los parámetros calculados para las estructuras.

De los resultados obtenidos, se puede verificar el cumplimiento de la capacidad hidráulica de las estructuras en función de la profundidad hidráulica, para lo cual se verifica la altura total en la entrada de las estructuras (cota de la corona de la vía - cota a la entrada de la estructura vs la profundidad hidráulica en el mismo punto (cota de la lámina de agua - cota a la entrada de la estructura). De lo cual se deduce que la última diferencia presentada, debe ser inferior a la primera, Adicional se puede observar la altura de la lámina de agua respecto a la entrada de la estructura, ver **Tabla 58**.

Adicional, se verifica la velocidad máxima permisible a través de las estructuras hidráulicas y a la salida de las mismas aguas abajo del canal. Con este chequeo, se busca garantizar que las velocidades que se presenten no sean erosivas, poniendo en riesgo la integridad tanto de las estructuras como del canal.

Caudal de Descarga (m3/s)		Elevacion Entrada (msnm)	Profundidad de Control (m)		Tipo de Flujo	Tipo de Profundidad Calculada (m)				Velocidad Calculada (m/s)	
Entrada	Box		Entrada	Salida		Normal	Critica	Salida	Aguas Abajo	Salida	Aguas Abajo
K1+211.12											
0.1	0.1	9.05	0.17~	0.16	3-M2t	0.12	0.1	0.12	0.12	0.86	0.39
0.11	0.11	9.06	0.18~	0.18	3-M2t	0.13	0.11	0.13	0.13	0.9	0.41
0.13	0.13	9.07	0.19	0.19	3-M2t	0.14	0.12	0.13	0.13	0.94	0.43
0.14	0.14	9.08	0.19	0.2	3-M2t	0.15	0.12	0.14	0.14	0.98	0.44
0.15	0.15	9.09	0.2	0.21	3-M2t	0.16	0.13	0.15	0.15	1.01	0.46
0.16	0.16	9.1	0.21	0.22	3-M2t	0.17	0.14	0.16	0.16	1.05	0.47
0.17	0.17	9.11	0.21	0.23	3-M2t	0.18	0.14	0.16	0.16	1.06	0.47
0.19	0.19	9.13	0.23	0.25	3-M2t	0.19	0.15	0.17	0.17	1.11	0.49
0.2	0.2	9.14	0.23	0.26	3-M2t	0.2	0.16	0.18	0.18	1.14	0.5

Caudal de Descarga (m3/s)		Elevacion Entrada (msnm)	Profundidad de Control (m)		Tipo de Flujo	Tipo de Profundidad Calculada (m)				Velocidad Calculada (m/s)	
Entrada	Box		Entrada	Salida		Normal	Critica	Salida	Aguas Abajo	Salida	Aguas Abajo
0.22	0.22	9.15	0.24	0.27	3-M2t	0.21	0.17	0.18	0.18	1.17	0.51
0.23	0.23	9.16	0.25	0.28	3-M2t	0.22	0.17	0.19	0.19	1.2	0.52
K1+442.28 y K1+448.00											
5	5	9.93	0.97	1.2	3-M1t	0.84	0.66	1.05	1.05	1.58	1.33
5.41	5.41	9.98	1.02	1.25	3-M1t	0.89	0.69	1.1	1.1	1.65	1.35
5.82	5.82	10.04	1.08	1.31	3-M1t	0.94	0.73	1.14	1.14	1.71	1.38
6.23	6.23	10.09	1.13	1.36	3-M1t	0.99	0.76	1.18	1.18	1.77	1.41
6.6	6.6	10.14	1.17	1.41	3-M1t	1.04	0.79	1.21	1.21	1.82	1.43
7.05	7.05	10.19	1.23	1.46	3-M1t	1.09	0.83	1.25	1.25	1.88	1.45
7.46	7.46	10.24	1.27	1.51	7-M1t	1.14	0.86	1.29	1.29	1.93	1.47
7.87	7.87	10.29	1.32	1.56	7-M1t	1.19	0.89	1.32	1.32	1.99	1.5
8.28	8.28	10.34	1.37	1.61	7-M1t	1.24	0.92	1.36	1.36	2.04	1.52
8.69	8.69	10.38	1.41	1.65	7-M1t	1.29	0.95	1.39	1.39	2.09	1.53
9.1	9.1	10.43	1.46	1.7	7-M1t	1.34	0.98	1.42	1.42	2.14	1.55

Fuente: Software HY-8

Tabla 57. Resultados del análisis hidráulico de las estructuras.

Control de Profundidad Hidráulica						
Abscisas	Cota de la corona de la vía (msnm)	Cota Lamina del Agua (m)	Cota a la entrada de la alcantarilla (msnm)	Altura Total Entrada Estructuras (m)	Altura de Estructura Entrada (m)	Chequeo de Altura
K1+211.12	10.13	9.13	8.88	1.25	0.25	Ok
K1+442.28 y K1+448.00	10.48	10.19	8.73	1.75	1.46	Ok

Fuente: Elaboración propia

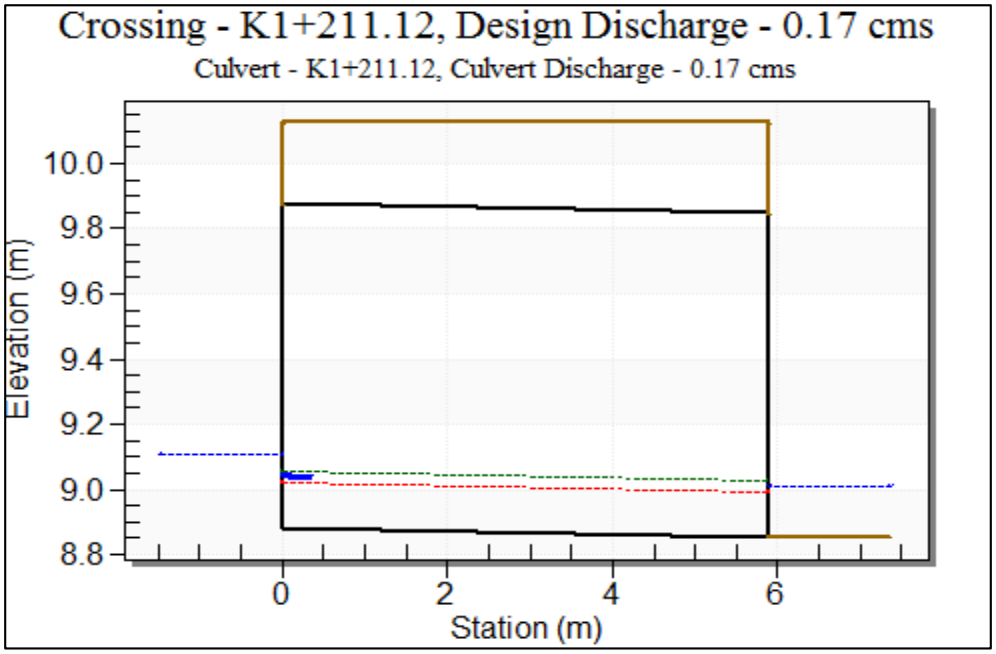
Tabla 58. Verificación capacidad hidráulica en función de la profundidad.

En la **Tabla 54 y 55**, se pueden observar las velocidades máximas permisibles y en la **Tabla 60**, los resultados obtenidos. Anexo a lo mencionado anteriormente, en la **Ilustración 25 y 26**, se puede observar el corte de una estructura hidráulica con el control a la entrada a o la salida del mismo y su funcionamiento hidráulico en función de la lámina de agua.

Abscisas	Velocidad Permisible (m/s)		Velocidad Calculada (m/s)		Chequeo de Velocidad	
	En la Salida	En el Box	Salida de las Estructuras	Aguas Abajo del Canal	Salida del Canal	En las Estructuras
K1+211.12	1.80	10.00	1.11	0.49	Ok	Ok
K1+442.28 y K1+448.00	1.80	10.00	1.88	1.45	Ok	Ok

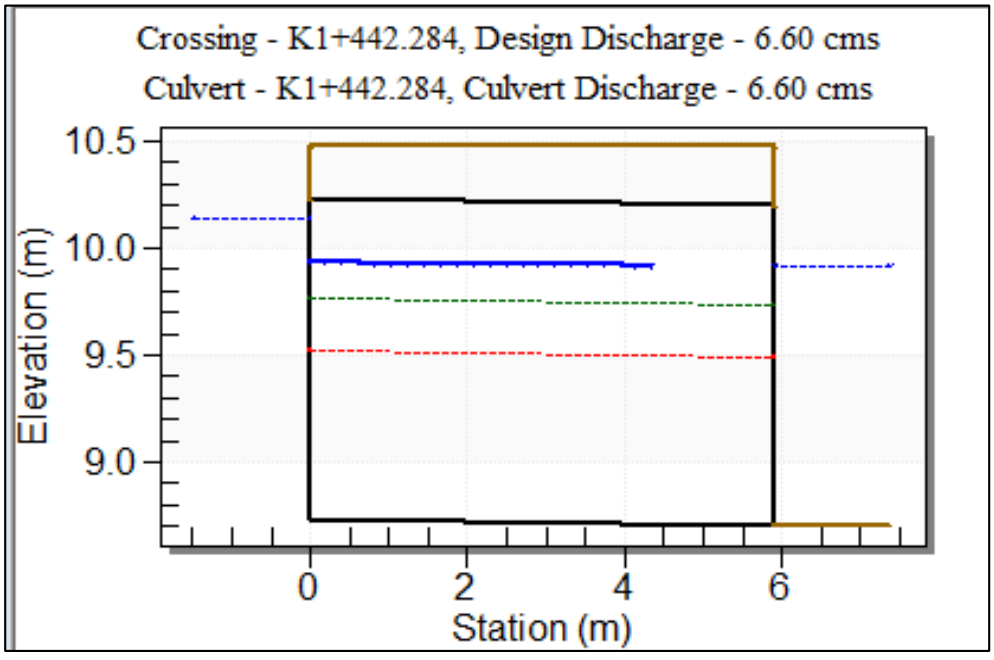
Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Verificación velocidad máxima permisible.



Fuente: HY-8

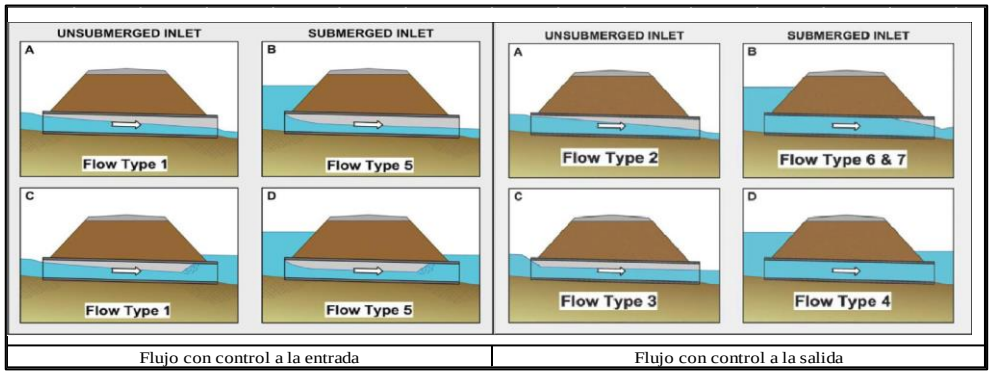
Ilustración 25. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+211.12 TR 20 años.



Fuente: HY-8

Ilustración 26. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+442.284 y K1+448.00 TR 20 años.

Por último, se identifica el control de flujo, ya sea a la entrada o la salida de las estructuras y el tipo de flujo a través de la estructura hidráulica, la clasificación de flujo se realiza en función de la **Ilustración 27 y Tabla 60.** En la **Tabla 35**, se presenta el tipo de flujo de las estructuras hidráulicas.



Fuente: HY-8 Manual

Ilustración 27. Secciones tipo para control de flujo.

Flow Control	Length Full	Flow Type		Flow Profiles	Outlet		Outlet Depth
		HW>D	HW<D		TW>D	TW<D	
Inlet	none	5	1	S2		n	Normal
Inlet	none	5	1	S1		t	Tailwater (TW)
Inlet	none	5	1	JS1		t	Jump, S1, TW
Inlet	none	5	1	M3, S3, H3, A3		t	Tailwater
Inlet	none	5	1	H3J, A3J		t	H3, Jump, TW
Inlet	part	5	1	S1	f		Full
Inlet	part	5	1	S1	f		Full
Inlet	part	5	1	JS1	f		Jump, S1, Full
Inlet	part	5	1	H3J, A3J	f		H3, Jump, Full
Outlet	none		2	M2, H2, A2		c	Critical
Outlet	none		3	M2, H2, A2		t	Tailwater
Outlet	none		3	M1		t	Tailwater
Outlet	part		3	M1	f		Full
Outlet	all	4		FF	f		Full
Outlet	most	6		FF		t	Tailwater
Outlet	most	6		FF		c	Critical
Outlet	part	7		M1		t	Tailwater
Outlet	part	7		M2, H2, A2		t	Tailwater
Outlet	part	7		M2, H2, A2		c	Critical

Fuente: HY-8

Tabla 60.Tipo de flujos.

Abscisas	Tipo de Flujo Calculado	Control	Profundidad a la Salida
K1+211.12	3-M2t	Salida	Tailwater
K1+442.28 y K1+448.00	3-M2t	Salida	Tailwater

Fuente: HY-8

Tabla 61. Identificación tipo de flujo estructuras hidráulicas.

9.3. Dimensionamiento hidráulico cárcamo

En este numeral, se busca valorar la capacidad hidráulica de los cárcamos, tal procedimiento se realiza calculando el tirante normal en función del factor de sección de flujo uniforme, **ecuación 12**. La ecuación para el cálculo del factor de sección, se reduce desde la ecuación de Manning para flujo uniforme, **ecuación 12.**

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3}\sqrt{S} \qquad EC\ 12$$

Donde

Q = Caudal en (m3/s)
A = Área de la sección de flujo de agua (m2)

Como el caudal es un valor conocido ya que previamente fue calculado en el **numeral 7,** el área hidráulica y la pendiente se conoce del diseño geométrico y el coeficiente de rugosidad del diseño de pavimento, se aplica la **ecuación 13** donde el área y radio hidráulica se encuentran en función de tirante.

$$AR^{2/3} = \frac{Qn}{\sqrt{S}} \qquad EC\ 13$$

Se procede a realizar el dimensionamiento hidráulico de las estructuras a construir, para esta situación se propuso el diseño de cárcamo, estructura que brindara un buen funcionamiento hidráulico a la vía estudiada, se observa en **la tabla 62.**

CARCAMO								
N° Alineamiento	Area	Item	Dirreccion en el eje vial	(S) Pendiente Long. (%)	(b) Ancho Solera (m)	(Q) Caudal Diseño (m3/s)	(y) Tirante Normal (m)	(V) Velocidad Calculada (m/s)
A1	A1-2	Tramo 1	Longitudinal	0.20%	0.30	0.028	0.14	0.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62 Dimensionamiento Hidráulico Cárcamo

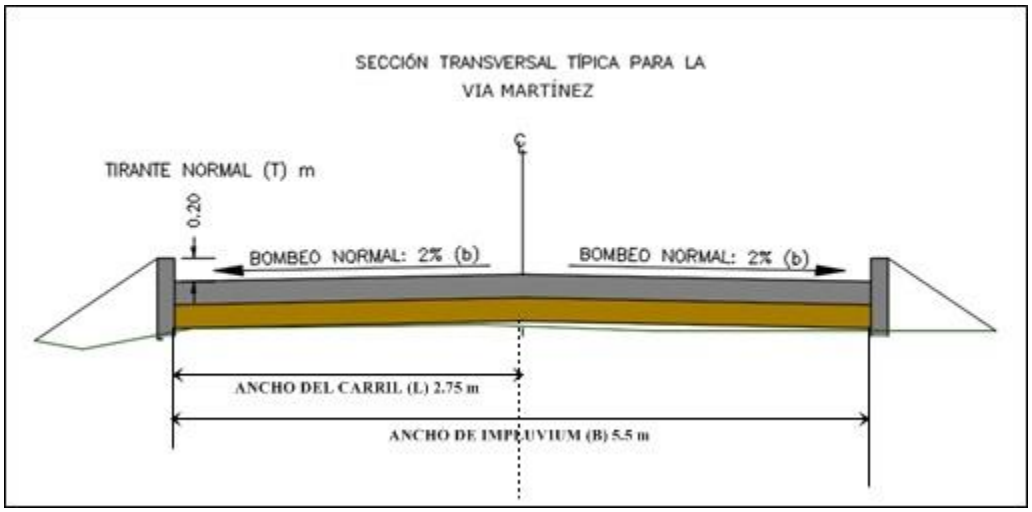
10. VALORACIÓN DE LA LONGITUD VIAL EN FUNCIÓN DE LAS CURVAS IPL

En este punto del diseño hidráulico consiste en chequear la capacidad de la vía, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc, para encontrar una longitud (L) máxima de vía.

De la igualdad Qe = Qc se obtiene un valor de L, magnitud que indica el sitio donde se rebosa la vía y donde es necesario desviar el agua mediante alivios o desagües. La expresión para el cálculo de L deducida de la igualdad Qe = Qc es:

$$L = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * a}{n * C_e * I * B} \qquad EC\ 14$$

Donde:
R = Radio Hidráulico en metros.
S = Pendiente de la vía en tanto por uno, igual a la pendiente de la rasante de la vía.
a = Área hidráulica de la sección transversal de la vía, en m2.
n = coeficiente de rugosidad de Manning.
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de precipitación en (mm/h).
B= Ancho de Impluvium (m)
Qe= Caudal de Escorrentía
Qc= Caudal de Captación



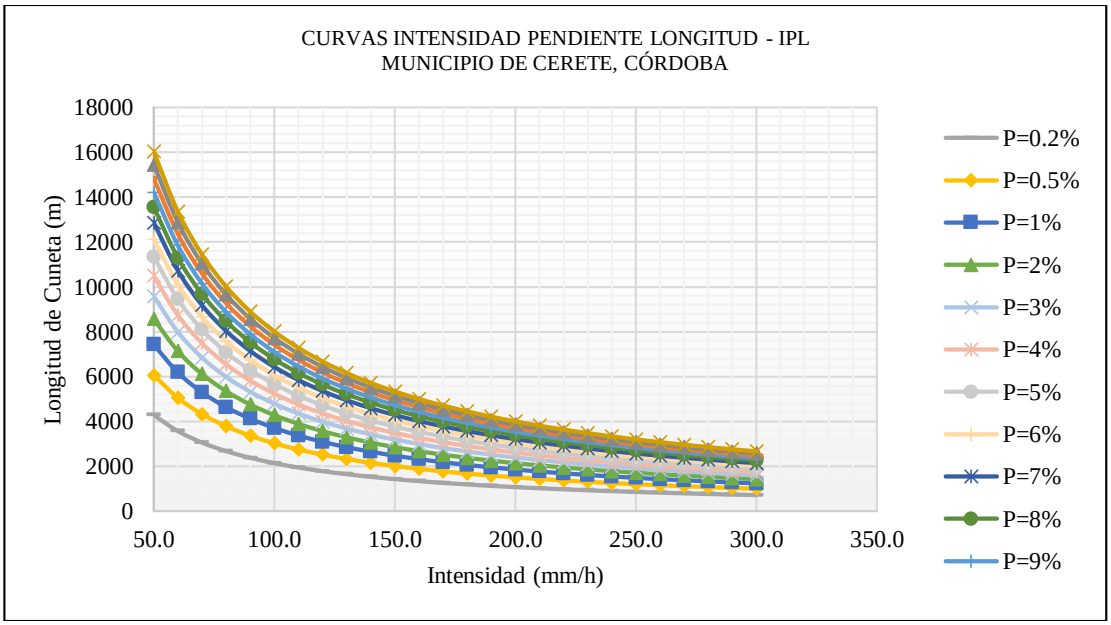
Fuente: Elaboración propia
Ilustración 28 Sección transversal típica con variables para el cálculo las Curvas IPL - Ancho de Impluvium (B)

Aplicando los anteriores criterios de diseño se elaboran las curvas I-P-L con adaptación a las geometrías de la vía, como ancho, altura de bordillo, relación de talud definido, Intensidad, tiempo de concentración, entre otros parámetros; Ver **tabla 63.** Se determina la Longitud máxima donde la vía podría presentar desbordamiento. En el **anexo 7** se indican los valores para organizar las curvas I-P-L y en las **Grafica 8** se presentan las correspondientes curvas.

Parámetros Generación Curvas IPL		
Variable	**Und**	**Vía**
Tirante normal (m)	T	0.20
Bombeo (%)	b	2.00%
Ancho del carril (m)	L	2.75
Área hidráulica (m2)	A	0.51
Área hidráulica (Ha)	a	5E-05
Perímetro mojado (m)	P	3.34
Radio Hidráulico (m)	R	0.15
Coeficiente de Manning	n	0.016
Tiempo de concentración (min)	Tc	15.00
Coeficiente de escorrentía	C	0.80
Ancho de Impluvium (m)	B	5.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63 Parámetros generación curvas IPL para la Vía



Fuente: Elaboración propia

Grafica 8 Curvas (IPL) intensidad – pendiente vía – longitud vial.

Con la información anterior se calculan las longitudes máximas para diferentes valores de pendiente de la rasante (S), **ver Tabla 64,** estos valores solo son una guía que nos permite tomar la decisión de la ubicación de los desagües de las escorrentías superficiales recolectadas en la vía**. Ver Tabla 72.**

Tramo	Pendiente (%)	I (mm/h)	Longitud (m)
A-1	0.7800	111.5671305	5365
	0.5100		4335
	0.1900		2645
	0.2000		2715

Fuente: Elaboración propia
Tabla 64 Valores de Longitud de vía.

La **tabla 64,** presenta las longitudes de la vía en función de las pendientes calculadas, esta tabla es solo una referencia ya que, en el momento de determinar la longitud de la vía y la posición de los alivios, se ajustan a la longitud máxima propuesta en la cartilla de **obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural**, tal documento menciona que "En caso de no contar con una obra de drenaje transversal (alcantarilla, box Culvert, puente) o una corriente natural para evacuar el agua proveniente de la vía que tienen una longitud máxima de 100 m, se sugiere disponer el agua en el terreno natural mediante bajantes, alivios, empedrados o rip-rap, tal como se plantea en el Manual de Drenaje (2009) en la sección 4.2" (Instituto Nacional de Vías - INVÍAS, 2019, pág. 13). Según lo antes mencionado se toma la consideración de emplear una longitud de vía de 100 metros, garantizando que a esta distancia no presentara desbordamiento, conformando así un sistema de drenaje óptimo para el presente proyecto. La ubicación exacta de los alivios se muestra en la **tabla 72 del capítulo 12.**

11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este numeral se pretende realizar un análisis de sensibilidad en función del periodo de retorno (Tr). La finalidad de esta metodología es evaluar el comportamiento hidráulico de las estructuras para el drenaje superficial de la vía diseñadas en caso de que se presente un evento de lluvia asociado a un periodo de retorno de **25 años** en cuanto a la sensibilidad de la vía, adicional se realiza la sensibilidad de las estructuras hidráulicas tipo box culvert para un **TR de 50 años.**

11.1. Valoración de la longitud de la vía en función de las curvas IPL

En este punto del diseño hidráulico consiste en chequear la capacidad de la vía, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc, para encontrar una longitud (L) máxima de vía, asociada al periodo de sensibilidad seleccionado siendo este un valor **25 años,** donde se relacionan variables como precipitación, intensidad de lluvia y coeficiente de escorrentía asociado al periodo de **25 años.**

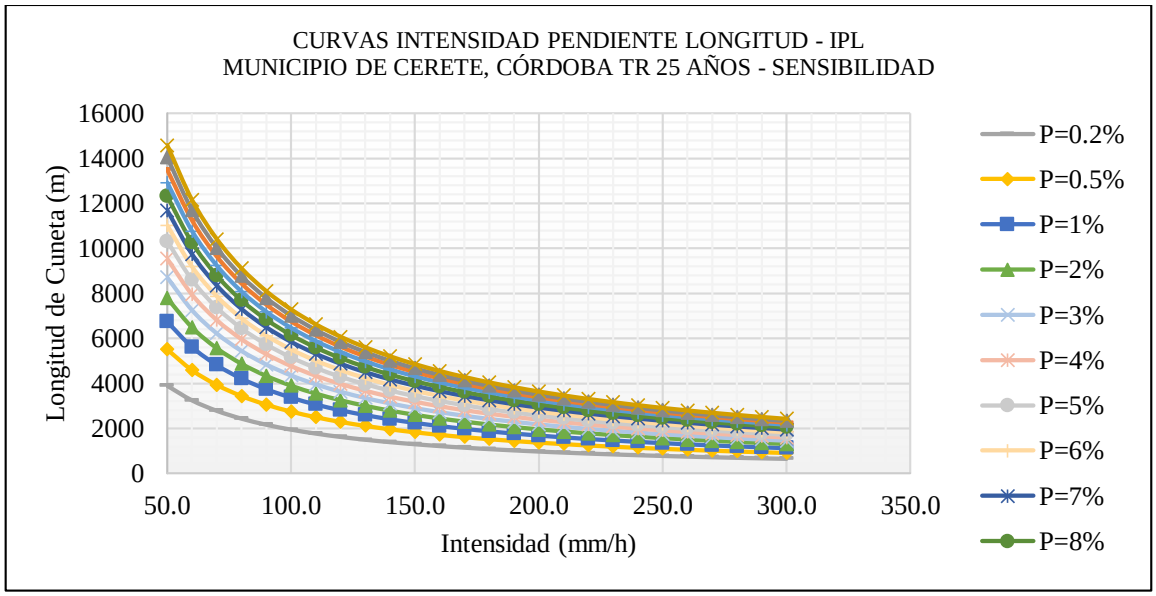
Se emplea la teoría y ecuaciones utilizadas en el **capítulo 10**; donde se obtiene un valor de L, magnitud que indica el sitio donde se rebosa la vía y donde es necesario desviar el agua mediante alivios o desagües.

Aplicando los anteriores criterios de diseño se elaboran las curvas I-P-L con adaptación a las geometrías de la vía, como ancho, altura de bordillo, relación de talud definido, Intensidad, tiempo de concentración, entre otros parámetros; se determina la Longitud máxima donde la vía podría presentar desbordamiento de un tramo de vía en estudio. En el **anexo 8** se indican los valores para organizar las curvas I-P-L y en las **Grafica 9** se presentan las correspondientes curvas.

Parámetros Generación Curvas IPL		
Variable	**Und**	**Vía**
Tirante normal (m)	T	0.20
Bombeo (%)	b	2.00%
Ancho de la vía (m)	L	2.75
Área hidráulica (m2)	A	0.51
Área hidráulica (Ha)	a	5E-05
Perímetro mojado (m)	P	3.34
Radio Hidráulico (m)	R	0.15
Coeficiente de Manning	n	0.016
Tiempo de concentración (min)	Tc	15.00
Coeficiente de escorrentía	C	0.88
Ancho de Impluvium (m)	B	5.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65 Parámetros generación curvas IPL para la Vía TR 25 años



Fuente: Elaboración propia

Grafica 9 Curvas (IPL) intensidad – pendiente – longitud vial TR 25 Años

Con la información anterior se calculan las longitudes máximas para diferentes valores de pendiente de la rasante (S), **ver Tabla 66,** estos valores solo son una guía que nos permite observar la distancia de desbordamiento de la vía según su geometría, precipitación, entro otras variables, Por normativa se empleó como se mencionó anteriormente que la longitud de ubicación de los alivios se hiciera a **100 metros**. Con este análisis se corrobora que la vía no presentara desbordamiento debido a que la longitud empleada en el diseño es inferior a la máxima según las curvas IPL. La localización exacta se encuentra en la **tabla 72,** del **capítulo 12 Obras hidráulicas a construir.**

Tramo	Pendiente (%)	I (mm/h)	Longitud (m)
A-1	0.7800	158.967983	3420
	0.5100		2765
	0.1900		1690
	0.2000		1735

Fuente: Elaboración propia
Tabla 66 Valores de Longitud de la vía.

11.2. Análisis de Sensibilidad de Box Culverts en HY8

Una vez realizado el análisis hidráulico de las estructuras diseñadas, se procede a realizar el análisis de sensibilidad para el periodo de retorno de **50 años**, empleando el software HY8 con el fin de garantizar el buen funcionamiento en función de la capacidad hidráulica de las estructuras diseñadas.

11.2.1. Parámetros de entrada para chequeo hidráulico de estructuras diseñadas.

Es necesario definir una serie de parámetros los cuales serán ingresados al software HY-8 el cual servirá para el chequeo de las estructuras hidráulicas, en la **Tabla 67** se presenta el chequeo de las estructuras a sensibilizar.

VARIABLES DE DISEÑO	SENSIBILIDAD DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN HY8	
Tipo de estructura	Box Culvert	Box Culvert
Abscisas de localización de estructuras	K1+211.12	K1+442.28 y y K1+448.00
Caudal de sensibilidad TR (Desing Flow) (m3/s)	0.228	9.100
Geometría del canal (Channel Type)	-	-
Ancho de la base del canal a la salida (Botton Width) (m)	2.00	2.00
Relación del talud del canal (Side Slope)	1.5H / 1.0V	1.5H / 1.0V
Pendiente del canal aguas abajo (Channel Slope) (m/m)	0.005	0.005
Coeficiente de rugosidad del canal (Mannig's Channel)	0.040	0.040

VARIABLES DE DISEÑO	SENSIBILIDAD DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN HY8	
Cota a la salida de la estructura (Channel Invert Elevation) (msnm)	8.85	8.70
Abscisa de la estructura respecto a la vía (First Roadway Station)	K1+211.12	K1+442.28 y K1+448.00
Longitud de la cresta (Crest Leght) (m)	5.90	5.90
Cota de la corona de la vía (Crest Elevation) (msnm)	10.13	10.48
Material carpeta de la estructura (Roadway Suerface)	Paved	Paved
Ancho de la estructura sobre la vía (Top Width) (m)	5.90	5.90
Diametro (Diameter) (mm)	N/A	N/A
Ancho de la estructura (Span) (mm)	1000	1500
Altura de la estructura (Rise) (mm)	1000	1500
Coeficiente de rugosidad de la estructura(Mannin's)	0.02	0.02
Tipo de estructura (Culvert Type) = Side – Tapered	Box Culvert	Box Culvert
Angulo entre salida del agua y aleta (Tapered Inlet Edge) (26-45°)	45°	45°
Ancho final de aletas (Face Width) (mm)	3780	3780
Talud de las aletas (Side Taper 4:1 to 6:1)	4.00	4.00
Abscisa a la entrada de la estructura (Inlet Station)	K0+000.00	K0+000.00
Cota a la entrada de la estructura (Inlet Elevation) (msnm)	8.88	8.73
Abscisa a la salida de la estructura (Outlet Station)	K0+005.90	K0+005.90
Cota a la salida de la estructura (Outlet Elevation) (msnm)	8.85	8.70
Numero de cajones (Number of Barrels)	1	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Parámetros necesarios para análisis en HY-8.

11.2.2. Resultados de sensibilidad para las estructuras hidráulicas

Una vez identificados los parámetros para el chequeo de la capacidad hidráulica de las estructuras hidráulicas, se hace uso del software HY-8, donde se obtiene como resultado del análisis de sensibilidad los valores mostrados en la **Tabla 68** en donde se evidencia los parámetros calculados para las estructuras.

De los resultados obtenidos, se puede verificar el cumplimiento de la capacidad hidráulica de las estructuras en función de la profundidad hidráulica, para lo cual se verifica la altura total en la entrada de las estructuras (cota de la corona de la vía - cota a la entrada de la estructura vs la profundidad hidráulica en el mismo punto (cota de la lámina de agua - cota a la entrada de la estructura). De lo cual se deduce que la última diferencia presentada, debe ser inferior a la primera, ver **Tabla 69**.

N° Estructura	Abscisas	Caudal de Descarga (m3/s)		Elevacion Entrada (msnm)	Profundidad de Control (m)		Tipo de Flujo	Tipo de Profundidad Calculada (m)				Velocidad Calculada (m/s)	
		Entrada	Box		Entrada	Salida		Normal	Critica	Salida	Aguas Abajo	Salida	Aguas Abajo
Estructura 1	K1+211.12	0.23	0.23	9.16	0.25	0.28	3-M2t	0.22	0.17	0.19	0.19	1.2	0.52
Estructura 2 y 3	K1+442.28 y K1+448.00	9.1	9.1	10.43	1.46	1.7	7-M1t	1.34	0.98	1.42	1.42	2.14	1.55

Fuente: Software HY-8

Tabla 68. Resultados del análisis hidráulico de las estructuras hidráulicas.

Control de Profundidad Hidráulica							
N° Estructura	Abscisas	Cota de la corona de la vía (msnm)	Cota Lamina del Agua (m)	Cota a la entrada de la alcantarilla (msnm)	Altura Total Entrada Estructuras (m)	Altura de Estructura Entrada (m)	Chequeo de Altura
Estructura 1	K1+211.12	10.13	9.16	8.88	1.25	0.28	Ok
Estructura 2 y 3	K1+442.28 y K1+448.00	10.48	10.43	8.73	1.75	1.70	Ok

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Verificación capacidad hidráulica en función de la profundidad.

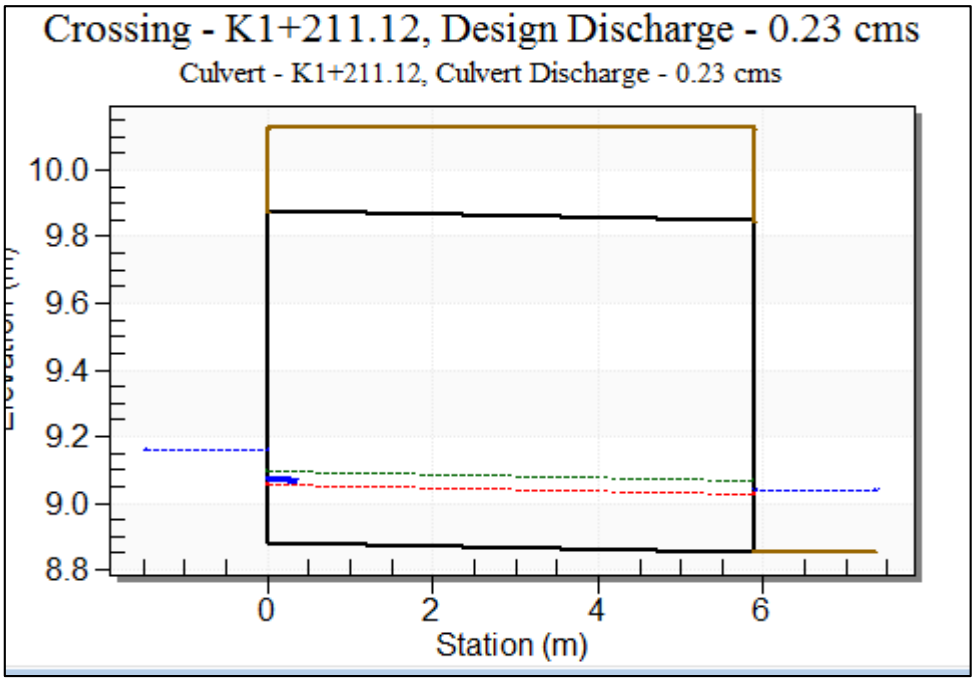
Adicional, se verifica la velocidad máxima permisible a través de las estructuras hidráulicas y a la salida de las mismas aguas abajo del canal. Con este chequeo, se busca garantizar que las velocidades que se presenten no sean erosivas, poniendo en riesgo la integridad tanto de las estructuras como del canal.

En la **Tabla 54 y 55**, se pueden observar las velocidades máximas permisibles y en la **Tabla 70**, los resultados obtenidos. Anexo a lo mencionado anteriormente, en la **ilustración 29 y 30** se puede observar un corte de la estructura hidráulica con el control a la entrada a o la salida del mismo y su funcionamiento hidráulico en función de la lámina de agua.

N° Estructura	Abscisas	Velocidad Permisible (m/s)		Velocidad Calculada (m/s)		Chequeo de Velocidad	
		En la Salida	En el Box	Salida de las Estructuras	Aguas Abajo del Canal	Salida del Canal	En las Estructuras
Estructura 1	K1+211.12	1.80	10.00	1.20	0.52	Ok	Ok
Estructura 2 y 3	K1+442.28 y K1+448.00	1.80	10.00	2.14	1.55	Ok	Ok

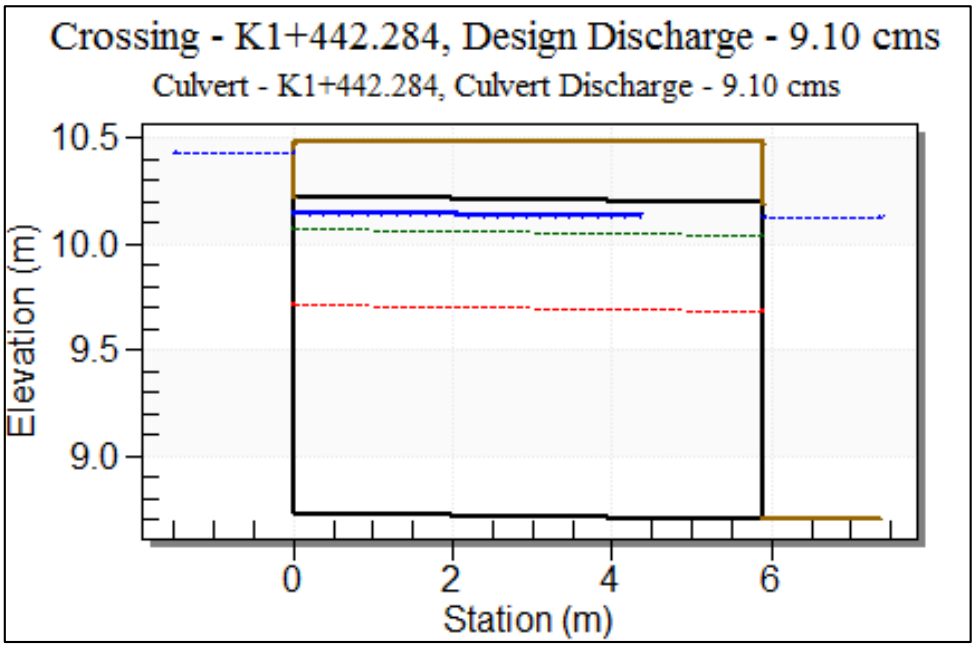
Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Verificación velocidad máxima permisible.



Fuente: HY-8

Ilustración 29. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+211.12 TR 50 años.



Fuente: HY-8

Ilustración 30. Corte longitudinal de la estructura ubicada en la abscisa K1+442.284 TR 50 años.

Por último, se identifica el control de flujo, ya sea a la entrada o la salida del Box Culvert y el tipo de flujo a través de la estructura hidráulica, la clasificación de flujo se realiza en función de la **Ilustración 27 y Tabla 60**. En la **Tabla 71**, se presenta el tipo de flujo de las estructuras hidráulicas.

N° Estructura	Abscisas	Tipo de Flujo Calculado	Control	Profundidad a la Salida
Estructura 1	K1+211.12	3-M2t	Salida	Critical
Estructura 2 y 3	K1+442.28 y K1+448.00	7-M1t	Salida	Critical

Fuente: HY-8

Tabla 71. Identificación tipo de flujo estructuras hidráulicas.

12. OBRAS HIDRÁULICAS A CONSTRUIR

Para el presente proyecto se empleará un sistema de recolección de escorrentías superficiales; En primera media serán transportadas por la vía, funcionando como un canal abierto que transporta las escorrentías, las cuales son direccionadas por el sistema de bombeo y peralte hacia los bordes viales, posteriormente el caudal es drenado hacia los terrenos laterales, por medio de alivios (BORDILLOS PERFORADOS) ; localizados en los puntos bajos y cada 100 metros, esta información se puede visualizar en la **tabla 72**, aquí se presenta abscisa, coordenadas Norte - Este y lado de la vía donde será construido esta obra hidráulica. Conforme a la teoría de la **cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural.** En los puntos donde se ubicaron estructuras hidráulicas tipo box culvert se plantean cunetas con el fin de direccionar las escorrentías superficiales hacia la salida de las estructuras.

12.1. Localización de estructuras hidráulicas tipo alivios (bordillos perforados)

Según los criterios anteriores se elabora la **tabla 72**, donde se ubican las obras hidráulicas tipo alivios**.** Se puede visualizar datos como; abscisa, coordenada este – norte, y lado de la vía donde será construida esta obra hidráulica. **Ver Planos de detalles.**

Ubicación de alivios Via Martinez - Cerete						
Item	Abscisa	Coordenadas		Coordenadas		Lado de la via
		Norte	Este	Latitud	Longitud	
1	K0+100.00	1473391.09	1144211.11	75° 45' 59.60"	8° 52' 28.17"	Derecho
2	K0+100.00	1473385.37	1144213.73	75° 45' 59.51"	8° 52' 27.99"	Izquierdo
3	K0+260.00	1473345.05	1144069.32	75° 46' 04.24"	8° 52' 26.69"	Derecho
4	K0+260.00	1473339.17	1144071.30	75° 46' 04.18"	8° 52' 26.50"	Izquierdo
5	K0+360.00	1473282.49	1143991.91	75° 46' 06.78"	8° 52' 24.66"	Derecho
6	K0+360.00	1473278.26	1143996.74	75° 46' 06.63"	8° 52' 24.53"	Izquierdo
7	K0+460.00	1473209.37	1143924.19	75° 46' 09.01"	8° 52' 22.29"	Derecho
8	K0+460.00	1473204.73	1143928.57	75° 46' 08.86"	8° 52' 22.14"	Izquierdo
9	K0+560.00	1473129.43	1143863.63	75° 46' 11.00"	8° 52' 19.70"	Derecho
10	K0+560.00	1473126.50	1143869.17	75° 46' 10.82"	8° 52' 19.60"	Izquierdo
11	K0+660.00	1473079.22	1143832.20	75° 46' 12.03"	8° 52' 18.07"	Derecho
12	K0+660.00	1473075.51	1143837.06	75° 46' 11.87"	8° 52' 17.95"	Izquierdo
13	K0+770.00	1472969.78	1143730.89	75° 46' 15.36"	8° 52' 14.52"	Derecho

Ubicación de alivios Via Martinez - Cerete						
Item	Abscisa	Coordenadas		Coordenadas		Lado de la via
		Norte	Este	Latitud	Longitud	
14	K0+770.00	1472964.93	1143734.99	75° 46' 15.23"	8° 52' 14.36"	Izquierdo
15	K0+870.00	1472912.50	1143649.45	75° 46' 18.03"	8° 52' 12.66"	Derecho
16	K0+870.00	1472907.17	1143652.86	75° 46' 17.92"	8° 52' 12.49"	Izquierdo
17	K0+970.00	1472855.28	1143567.05	75° 46' 20.73"	8° 52' 10.81"	Derecho
18	K0+970.00	1472850.43	1143571.10	75° 46' 20.60"	8° 52' 10.65"	Izquierdo
19	K1+130.00	1472740.00	1143457.52	75° 46' 24.33"	8° 52' 07.07"	Derecho
20	K1+310.00	1472706.24	1143335.16	75° 46' 28.34"	8° 52' 05.99"	Izquierdo
21	K1+400.00	1472749.98	1143257.51	75° 46' 30.87"	8° 52' 07.42"	Izquierdo
22	K1+490.00	1472733.44	1143170.92	75° 46' 33.71"	8° 52' 06.89"	Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72 Ubicación de alivios Tipo Vía Martínez - Cerete

12.2. Localización de estructuras de drenaje complementarias tipo cárcamos

Se realizó la ubicación de los cárcamos para el drenaje superficial de la vía en zonas de accesos a las estructuras hidráulicas tipo box culvert, en la **Tabla 73** se presenta la abscisa, coordenadas, y lado de la vía donde serán ubicadas.

CARCAMO										
Alineamiento	Item	Lado de la via	Norte Inicial	Este Inicial	Norte Final	Este Final	Ancho de Carcamo (m)	Alto Incial de carcamo (m)	Longitud de Carcamo (m)	Pendiente Longitudinal %
A1-2	Tramo 1	Derecho	1472739.76	1143457.43	1472681.50	1143432.31	0.50	0.40	80.00	0.20%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Ubicación de cunetas.

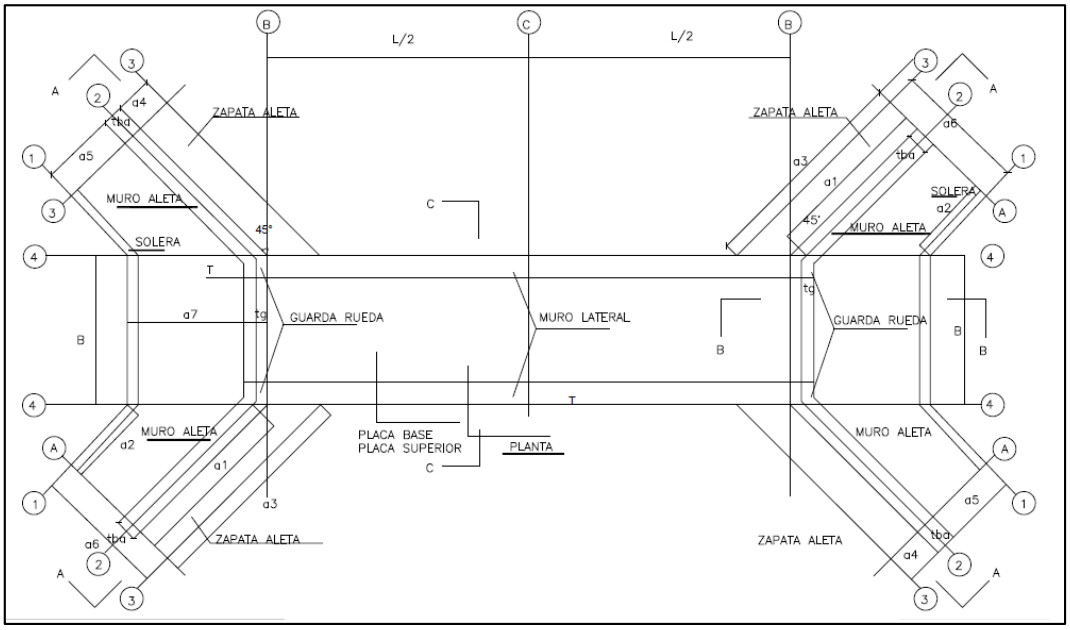
12.3. Localización de estructuras hidráulicas y detalles constructivos

Se hizo la ubicación de las obras hidráulicas tipo Box Culvert de la vía estudiada, en la **Tabla 74** se presentan las abscisas donde serán construidas las estructuras hidráulicas y sus coordenadas. Sus detalles constructivos están en las **Ilustraciones 31 y 32**. Adicional en la **Ilustración 18** se observa la localización de la ubicación de las estructuras tipo Box Culvert, representadas con una "E".

Ubicación de estructuras hidráulicas Via Martínez - Cerete							
N° Estructura	Abscisa	Coordenadas		Tipo de Estructura	Dimensiones (m)		
		Norte	Este		Ancho (m)	Altura (m)	Longitud (m)
Box Culvert 1	K1+210.00	1472678.68	1143430.51	Box Culvert	1.00	1.00	5.90
Box Culvert 2	K1+442.28	1472747.74	1143216.36	Box Culvert	1.50	1.50	5.90
Box Culvert 3	K1+448.00	1472746.66	1143211.36	Box Culvert	1.50	1.50	5.90

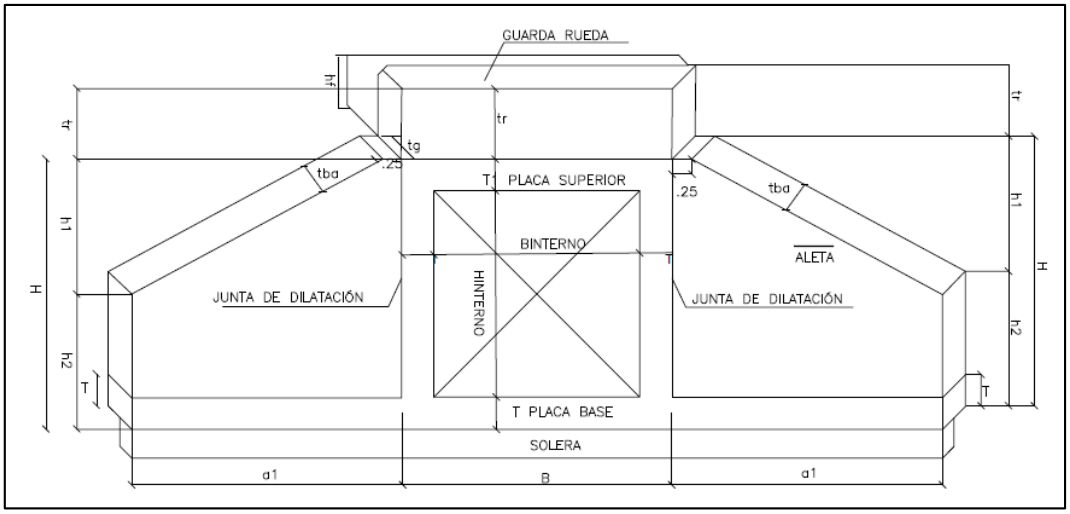
Fuente: Elaboración propia

Tabla 74. Ubicación de estructuras nuevas tipo Box Culvert.



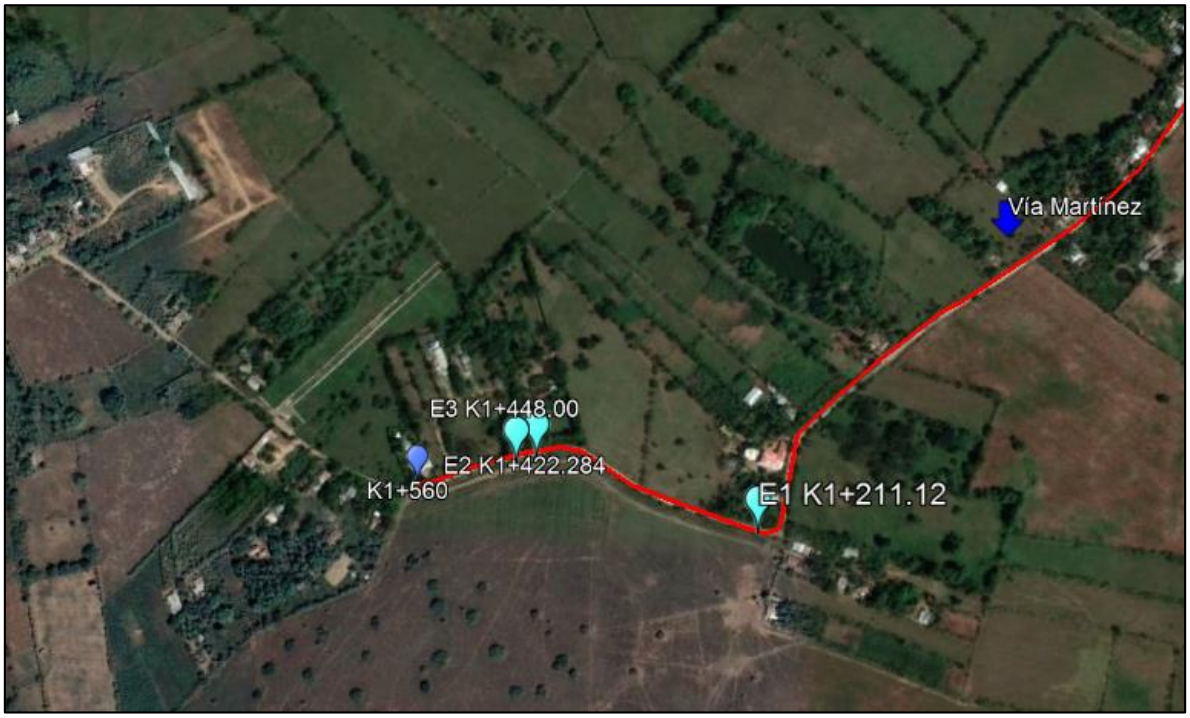
Fuente: Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural

Ilustración 31. Box Culvert vista en planta.



Fuente: Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural

Ilustración 32. Box Culvert vista frontal.



Fuente: Google Earth
Ilustración 33. Localización de estructuras hidráulicas a construir.

13. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- Se recomienda conservar la pendiente longitudinal de diseño para no alterar las velocidades de evacuación de escorrentías superficiales.

- Se recomienda durante la etapa de revisión al estudio, ser informado al consultor cualquier observación ya que este es el responsable del estudio.

- Para el desarrollo del análisis morfométrico de las áreas aferentes que afectan la vía a intervenir. se delimitan las cuencas hidrográficas haciendo uso de modelos digitales de elevación (DEM), los cuales son post procesados en software como Global Mapper, como complemento se hace una verificación con la ayuda de Google Earth y la topografía medida en campo. Una vez delimitadas y seccionadas las cuencas aportantes a cada tramo vial, se describen los parámetros morfométricos de la misma.

- Se definieron varios periodos de retorno para el desarrollo del proyecto, los cuales obedecen a un valor de TR **5 años** para la sección vial, **25 años** para la precipitación máxima en 24 horas que se ha presentado en la zona, TR **20 años** para las obras hidráulicas tipo (box culverts) y **50 años** para la sensibilidad del box culverts.

- La determinación de los caudales se desarrolló por el método racional, para las cuencas con áreas tributaria menores a 80 Ha, como lo especifica la resolución 0330 del 2017 (método empelado en el presente proyecto). Para las cuencas con áreas tributarias mayores a 80 Ha se debe emplear el caudal el método SCS (NRSC), para las áreas donde aplico ambos métodos que fue el análisis de las vías y el área 1 de las estructuras se saca posteriormente un promedio de ambos resultados. En el caso del **Area 2** para el análisis de las estructuras se hizo el cálculo del caudal con por método SCS (NRSC) debido a la magnitud del Area analizada.

- La determinación de la geometría de las estructuras hidráulicas se realizó con base en las dimensiones tipo de la Cartilla guía para la evaluación de cantidad y ejecución de presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea (INVIAS, 2017).

- El comportamiento hidráulico de las estructuras no genera velocidades erosivas, tal información se puede verificar en la **tabla 59 y 70** del numeral **9.2.2 y 11.2.2 análisis Hidraulico de box culverts en HY8.**

- Se recomienda conservar la pendiente longitudinal del diseño para no alterar las velocidades de evacuación de escorrentías superficiales.

- Se recomienda hacer mantenimiento general y limpieza rutinaria a las estructuras hidráulicas por construir con el fin de garantizar un buen funcionamiento hidráulico.

- Se recomienda durante la etapa constructiva conservar todos los parámetros de diseño establecidos por esta consultoría, cualquier modificación debe ser informada para su aprobación.

- Se recomienda durante la construcción del tramo vial que el constructor conserve el dimensionamiento planteado por la consultoría, cualquier modificación puede afectar el drenaje ya que se vería afectado el caudal de escorrentía que puede transportar la estructura hidráulica.

- Para el presente proyecto se empleará un sistema de recolección de escorrentías superficiales descrito de la siguiente manera; En primera media serán transportadas por la vía, funcionando como un canal abierto que transporta las escorrentías, las cuales son direccionadas por el sistema de bombeo y peralte hacia los bordes viales, posteriormente el caudal es drenado hacia los terrenos laterales, por medio de alivios; localizados en los puntos bajos y cada 100 metros, esta información se puede visualizar en la **tabla 72,** Conforme a la teoría de la **Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural. Estructuras proyectadas** Con el fin de evitar desbordamientos y futuros daños en la vía estudiada. Se ubicaron estructuras hidráulicas tipo box culvert y en zonas de accesos a las estructuras hidráulicas se planteó cárcamos que direccionan las escorrentías superficiales hacia el punto de entrega donde sea necesario. Para mayor claridad, se genera el plano de

hidrológico e hidráulico en el cual se evidencia claramente el sistema de drenaje. **Ver anexo 10 Plano Detalles Red Pluvial.**

- Para el **Area de la cuenca 2** se planeó poner dos box culvert de 1.5 de ancho por 1.5 de alto, con la finalizada de cumplir con la capacidad hidráulica requerida y como método de optimización para la Elevacion del diseño geométrico.

- En consideración de la pendiente longitudinal, se puede concluir que la lámina de agua no será excesiva, a tal punto que genere hidro planeo.

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

AÑO	DATOS DE PRECIPITACIÓN MAX 24 HORAS (mm) ESTACIONES																											
	TIERRALTA				CHIMA	CHINÚ	PLANETA RICA	SAHAGÚN				PUERTO ESCONDIDO		VALENCIA	PUEBLO NUEVO	ARBOLETES		SAN CARLOS						MONTERIA			
	CARAMELO	QUIMARI	TIERRALTA	REPRESA DE URRA	CHIMA	CHINÚ AUT	PLANETA RICA	COLOMBO Y	SAHAGÚN	TREMENTI NO	JOBO EL TABLON	CRISTO REY AUT	JARAMAGA L	PEZVAL	SAJONIA HACIENDA AUT	ARBOLETE S	CARMELO EL	SANTA ROSA	BUENOS AIRES 1	CARRIZAL	SAN CARLOS	COROZA 2	CALLEMAR	BOCA DE LA CEIBA	SANTA LUCIA	SAN ANTERITO	TAMPA
1979	83	138	99		125	100	124	70	82	76	130	117	65	86	93	129	74	88	95	99	106	90	76	135	87	81	61
1980	60	73	106		78	95	93	70	52	95	89	129	85	89	88	138	98	114	78	115	61	50	114	131	73	85	92
1981	132	72	72		50	98	160	68	102	125	85	64	80	83	46	100	76	106	113	75	139	130	115	100	86	80	71
1982	72	110	95		95	119	75	83	86	92	111	132	82	87	85	173	182	90	64	100	103	46	102	115	105	82	51
1983	124	102	61		71	136	136	61	115	120	39	125	81	79	93	158	42	84	83	137	124	85	100	86	90	90	56
1984	85	80	144		90	113	101	120	147	95	107	55	91	102	130	122	130	64	100	98	123	86	150	66	78	90	105
1985	138	130	75		110	107	69	65	75	80	115	144	105	81	105	110	147	137	103	75	141	100	60	100	82	52	86
1986	87	103	146		110	118	56	105	100	103	90	145	110	103	119	148	78	120	95	133	70	50	90	56	105	90	170
1987	78	100	116		60	64	140	115	120	120	95	75	64	94	84	102	69	100	70	85	87	70	100	92	85	81	102
1988	70	97	104		70	138	70	115	110	131	120	108	150	89	85	162	90	120	70	93	89	64	62	93	170	150	84
1989	100	141	77		85	100	46	52	85	117	80	79	170	82	101	158	55	130	108	100	123	100	100	93	110	109	72
1990	114	150	95		130	65	160	107	135	180	82	134	85	88	91	105	105	135	145	90	90	150	80	110	97	102	110
1991	55	90	66		75	125	152	64	90	67	120	77	90	60	142	95	47	114	95	102	90	115	100	100	130	67	70
1992	90	82	130		58	120	130	30	126	97	73	126	60	96	104	98	106	96	160	80	84	67	91	64	94	60	95
1993	67	68	44		57	63	93	65	80	80	103	92	210	81	86	130	83	109	60	90	52	90	85	110	140	65	110
1994	123	90	81		114	93	131	83	62	90	100	86	90	82	113	125	100	113	135	104	98	90	80	109	90	60	72
1995	92	90	130		84	134	71	82	104	90	93	97	53	78	85	55	92	90	83	84	98	80	103	82	70	80	84
1996	71	84	65		58	77	83	42	109	75	110	98	73	80	96	99	132	120	90	91	94	118	68	94	85	102	80
1997	119	97	130		130	113	89	85	83	78	88	133	92	130	92	22	82	104	120	100	98	120	92	90	60	85	112
1998	79	4	150		52	89	97	84	65	66	120	69	115	90	103	22	91	88	102	91	112	92	107	86	85	70	90
1999	110	4	119		80	117	88	84	78	74	85	168	130	80	90	82	127	73	84	120	92	44	67	105	28	50	13
2000	101	20	87		50	45	78	65	61	15	80	117	81	103	41	67	39	82	133	100	92	125	80	130	65	85	150
2001	81	30	110		85	142	65	86	62	70	80	108	81	90	64	134	55	85	98	102	91	86	90	68	90	99	120
2002	71	83	119		85	87	94	92	85	120	100	101	81	121	109	122	84	124	85	83	45	75	70	70	75	98	80
2003	90	70	94		53	64	81	76	66	90	60	136	106	95	64	135	83	135	125	119	71	93	90	89	95	91	87
2004	109	30	115		55	114	70	79	87	90	140	119	86	73	71	135	90	88	87	100	90	82	70	75	80	117	100
2005	128		134	115	90	101	81	66	53	100	130	77	116	106	74	89	60	125	115	106	122	95	90	78	60	138	100
2006	100		104	148	75	127	83	63	74	70	94	100	111	102	65	135	100	90	132	100	115	50	135	90	95	65	90
2007	83		115	87	82	74	83	105	76	145	80	157	68	102	103	90	77	110	100	84	130	103	90	75	75	81	80
2008	115		92	88	82	78	127	132	83	95	90	74	82	115	90	136	97	110	80	110	112	87	97	110	120	140	90
2009	90		75	166	58	100	111	136	108	114	90	96	92	104	92	144	60	95	130	68	123	95	110	61	82	90	56
2010	79		90	133	76	90	92	158	79	145	130	16	63	77	96	143	74	75	93	132	110	65	113	97	80	79	88
2011	85		135	132	95	135	105	73	74	64	100	4	110	88	77	134	150	67	100	145	120	100	70	90	134	102	96
2012	101		107	105	114	126	110	114	75	65	80	94	75	83	77	118	87	75	94	132	80	83	28	90	90	120	101
2013	131		80	97	62	78	97	95	68	87	140	110	110	80	84	123	103	105	88	93	75	102	10	65	70	87	48
2014	135		115	80	84	112	89	63	70	75	90	94	133	103	78	109	90	84	93	84	90	92	135	135	60	112	125
2015	60		74	129	75	136	105	83	72	95	80	115	86	56	79	112	76	70	81	105	50	85	100	95	93	56	75
2016	82		95	122	66	67	65	102	68	78	90	66	65	64	95	123	105	94	96	87	120	70	100	95	79	87	80
Pmax	**138.00**	**150.00**	**150.00**	**165.50**	**130.00**	**142.00**	**160.00**	**158.40**	**147.00**	**180.00**	**140.00**	**167.50**	**210.00**	**130.00**	**142.00**	**172.60**	**182.00**	**137.00**	**160.00**	**145.00**	**141.00**	**150.00**	**150.00**	**135.00**	**170.00**	**150.00**	**170.00**
Pmedia	**94.40**	**82.20**	**101.20**	**116.79**	**80.79**	**101.58**	**97.30**	**85.21**	**85.91**	**93.91**	**97.08**	**100.96**	**95.45**	**89.54**	**89.18**	**115.29**	**90.40**	**100.24**	**99.55**	**100.31**	**97.63**	**87.48**	**90.00**	**92.89**	**89.29**	**88.89**	**88.23**

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

AÑO	DATOS DE PRECIPITACIÓN MAX 24 HORAS (mm) ESTACIONES																											
	MONTERIA						CERETÉ			SAN PELAYO		CIÉNAGA DE ORO		BUENAVISTA	AYAPEL	MONTELIBANO		SINCELEJO		COROZAL		COLOSÓ		TOLU		TOLUVIEJO		SAN ANTERO
	SANTA CRUZ HACIENDA	LOMA VERDE	SABANAL	BUENOS AIRES	MARACAYO	U. CÓRDOBA	RABOLARGO	CERETÉ	TURIPANA	SAN ANTONIO	CARRILLO	SALADO EL	CIÉNAGA DE ORO	BUENAVISTA	AYAPEL	PICA PICA	SAN FRANCISCO	PASTORA LA	PUERTA ROJA AUT	AEROPUERTO RAFAEL BARVO	HATO NUEVO	PARAISO EL	PRIMATES	SANTA ANGELA HACIENDA	TOLU	ARGENTINA	TOLUVIEJO	VILLA MARCELA
1979	65	126	80	92	95	39	100	190	103	76	79	97	50			120	78			61.1	89			37	150	50	94	
1980	97	115	73	138	135	79	122	76	54	95	122	76	120			100	170			84	62			110	91	57	67	
1981	69	64	135	95	83	100	83	87	114	0	118	73	156			105	97			84.6	130				132	77	52	
1982	72	98	65	61	80	57	91	67	70	90	75	90	140			9	107			77	70			103	113	90	96	
1983	110	66	110	70	82	96	108	137	134	90	86	88	85			100	158			72	103			100	125	106	122	
1984	65	77	90	106	102	69	112	74	83	55	85	75	55			88	80			103	108			130	135	82	98	
1985	95	96	71	110	91	71	81	76	106	90	93	69	70			110	128		72	87.3	151		60.6	92	133	114	125	
1986	81	63	72	97	96	73	85	50	103	69	53	83	76			85	99			95.2	85	149.2	97.5	145	140	165	135	
1987	107	73	95	65	90	82	90	90	65	83	107	94	97			110	77		66	63.8	70	79.9	78.5	128	90	132	74	
1988	63	95	105	112	111	103	95	71	111	100	122	41	100			95	107			63	95	111	90.3	93	109	135	108	114
1989	78	87	115	115	87	83	140	82	97	135	150	93	100			74	81			62	65	75.6	55	135	118	106	63	71
1990	55	80	98	102	137	143	98	106	145	94	87	97	135	85	145	130	100	45	68	75	69	12.6	52	70	120	100	135	73
1991	140	80	66	67	110	60	103	98	52	85	86	87	125	110	136	140	101	70	62.5	56	90.1	77.5	81.5	40	20	40	55	81
1992	148	100	101	97	66	68	70	78	75	89	85	68	80	98	153	110	65	60	68	65	56	102.7	75	95	136			103
1993	70	90	96	75	87	84	75	113	84	102	78	89	110	90	108	130	106	90	97	128	98.1	71.1	70.4	80	94	140	95	130
1994	78	74	90	62	76	76	140	132	67	100	109	116	75	80	95	110	82	75	71	98.8	91.5	96.2	98.6	153.2	113	163	102	48
1995	62	60	90	115	99	64	75	90	69	93	72	69	140	95	152	105	133	120	55.5	84.4	81	83.4	77.1	62	135	139	124	82
1996	86	80	70	129	87	84	140	137	103	126	84	76	60	92	112	110	91	65	93.5	100.1	99	81.3	57.5	120	133	91	68	95
1997	88	90	125	103	76	182	70	79	94	82	73	61	105	95	81	140	93	65	89	78.2	135	113.8	58.5	95	83	98	96	87
1998	86	85	80	90	90	79	94	123	117	139	105	85	90	135	52	95	150	70	86	58.4	142	87.7	76	112	116	104	120	128
1999	89	67	87	19	83	57	140	63	76	75	102	41	98	105	81	46	100	30	61	81.4	122.2	129.5	60	130	127	80	95	98
2000	60	57	106	107	83	80	70	100	61	60	66	82	120	97	183	82	82	95	93.5	80.5	96	92.6	97	140	91	138	82	52.9
2001	84	76	80	70	12	71	100	98	101	70	76	78	60	115	100	81	109	60	51.5	49.4	81	96.8	90	120	67	130	83	58.4
2002	73	83	75	69	65	51	78	64	62	75	74	64	140	90	95	93	121	54	77	65.2	135	93.6	65	115	70	90	106	96.1
2003	65	115	100	80	90	145	78	73	103	75	90	85	100	130	90	88	100	65	0	53.5	100	87.2	80.6	49	120	122	146	87
2004	16	94	85	93	76	54	49	119	76	80	50	56	120	110	133	130	99	85	98.5	77.5	77	85.1	50.9	105	97	90	34	60
2005	75	95	90	125	130	94	96	98	90	85	132	118	60	90	147	90	110	75	78	84	90	50.1	130	130	132	108	62	64
2006	68	85	136	100	70	101	90	52	97	100	102	81	70	80	105	77	102	70	103	61.5	118	72.6	60.2	80	121	74	64	92
2007	75	124	95	112	135	85	64	121	105	65	150	64	50	130	134	105	84	80	78	54	123	134.9	68	82	47	92	118	70
2008	57	58	92	100	90	88	101	96	103	72	99	87	50	150	126	116	84	85	55	73.2	95	64.8	100	97	87	98	106	87
2009	52	42	78	100	110	84	84	109	111	80	111	87	79	90	110	75	91	80	133	35.5	105	83.9	45	90	65	87	73	67
2010	79	72	80	92	81	74	75	203	92	85	100	117	135	90	164	99	96	90	83	72.5	108	128.8	135	155	120.4	150	130	133
2011	75	50	76	102	76	83	80	99	129	75	107	130	99	75	75	115	102	75	62.0	78	98.0	94.2	130.0	130	138.0	130	91.0	98.0
2012	72	77	87	75	100	110	82	87	69	90	75	102	95	60	103	124	110	80	84.3	73.7	80	99.2	76	104	67.5	81	131	177
2013	65	69	61	75	80	57	67	88	77	75	104	91	80	100	116	52	110	95	75.2	91.3	79.0	98.2	65.0	130	124.0	126	70.0	75.0
2014	36	70	57	51	83	52	65	72	83	110	94	67	91	94	144	65	46	75	84	114	67	89.5	82	74	80	110	63	109
2015	60	90	65	60	106	51	60	82	65	103	81	56	65	90	82	78	115	90	80	90.4	68	67.5	6.9	106	53.5	92	58	109
2016	36	97	103	126	97	95	66	55	90	74	59	23	72		112	68	145	76		63	126	82.8	126.5	74	120.4	113	86	85
Pmax	**148.00**	**126.00**	**136.00**	**138.00**	**137.00**	**182.00**	**140.00**	**202.60**	**145.40**	**139.00**	**150.00**	**130.00**	**156.00**	**150.00**	**183.30**	**140.00**	**170.00**	**120.00**	**133.00**	**128.00**	**151.00**	**149.20**	**135.00**	**155.00**	**150.00**	**165.00**	**146.00**	**177.00**
Pmedia	**75.04**	**82.11**	**88.93**	**90.97**	**90.72**	**82.18**	**89.92**	**95.62**	**90.35**	**85.32**	**93.17**	**80.37**	**93.49**	**99.08**	**116.06**	**96.06**	**102.87**	**74.81**	**75.91**	**76.20**	**96.26**	**90.11**	**78.02**	**103.01**	**105.63**	**105.41**	**92.62**	**90.70**

SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**	ALCALDÍA DE CERETÉ

ANALISIS DE FRECUENCIA DE LLUVIAS P MAX 24 HORAS

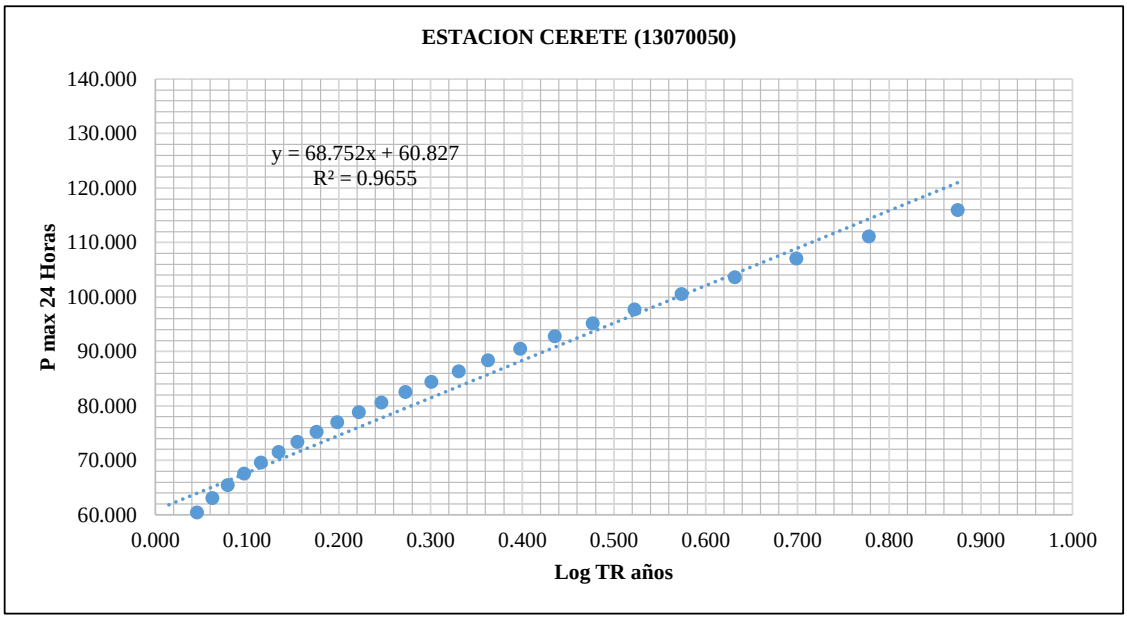
ESTACION CERETE (13070050)

Año	Pmax 24-hr (mm)	Pmax 24-hr (mm) < a >	Rango jerarquico promedio ®	Prob. de Exc. (P(x))	Tr (Tiempo de Retorno)	Log Tr (Tiempo de Retorno)	F(x)	Pmax 24-hr (mm) Gumbel
1987	90	52	29.0	0.967	1.034	0.015	0.033	52.575
1988	71	55	28.0	0.933	1.071	0.030	0.067	57.133
1989	82	63	27.0	0.900	1.111	0.046	0.100	60.377
1990	106	64	26.0	0.867	1.154	0.062	0.133	63.046
1991	98	71	25.0	0.833	1.200	0.079	0.167	65.394
1992	78	72	24.0	0.800	1.250	0.097	0.200	67.540
1993	113	73	23.0	0.767	1.304	0.115	0.233	69.554
1994	132	78	22.0	0.733	1.364	0.135	0.267	71.479
1995	90	79	21.0	0.700	1.429	0.155	0.300	73.345
1996	137	82	20.0	0.667	1.500	0.176	0.333	75.177
1997	79	82	19.0	0.633	1.579	0.198	0.367	76.992
1998	123	87	18.0	0.600	1.667	0.222	0.400	78.807
1999	63	88	17.0	0.567	1.765	0.247	0.433	80.635
2000	100	90	16.0	0.533	1.875	0.273	0.467	82.491
2001	98	90	15.0	0.500	2.000	0.301	0.500	84.388
2002	64	96	14.0	0.467	2.143	0.331	0.533	86.343
2003	73	98	13.0	0.433	2.308	0.363	0.567	88.372
2004	119	98	12.0	0.400	2.500	0.398	0.600	90.493
2005	98	98	11.0	0.367	2.727	0.436	0.633	92.730
2006	52	99	10.0	0.333	3.000	0.477	0.667	95.113
2007	121	100	9.0	0.300	3.333	0.523	0.700	97.677
2008	96	106	8.0	0.267	3.750	0.574	0.733	100.472
2009	109	109	7.0	0.233	4.286	0.632	0.767	103.566
2011	99	113	6.0	0.200	5.000	0.699	0.800	107.057
2012	87	119	5.0	0.167	6.000	0.778	0.833	111.098
2013	88	121	4.0	0.133	7.500	0.875	0.867	115.943
2014	72	123	3.0	0.100	10.000	1.000	0.900	122.066
2015	82	132	2.0	0.067	15.000	1.176	0.933	130.534
2016	55	137	1.0	0.033	30.000	1.477	0.967	144.745
			29					

	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.	

ANALISIS DE FRECUENCIA DE LLUVIAS P MAX 24 HORAS

ESTACION CERETE (13070050)



PERIODO DE RETORNO GUMBEL - ESTACION CERETE (/13070050)

TR (años)	Log TR	P(x)	F(x)	P(mm) (Gumbel)	P (Media) mm
2	0.301	0.50	0.50	84.4	134.6
5	0.699	0.20	0.80	107.1	
10	1.000	0.10	0.90	122.1	
25	1.398	0.04	0.96	141.0	
50	1.699	0.02	0.98	155.1	
75	1.875	0.01	0.99	163.3	
100	2.000	0.01	0.99	169.1	

PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA PMAX HISTORICA		
Año	**Pmax 24-h (mm)**	**TR (años)**
1996	137	25

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 3 CALCULO DE INTENSIDAD PARA GENERACIÓN DE CURVAS IDF

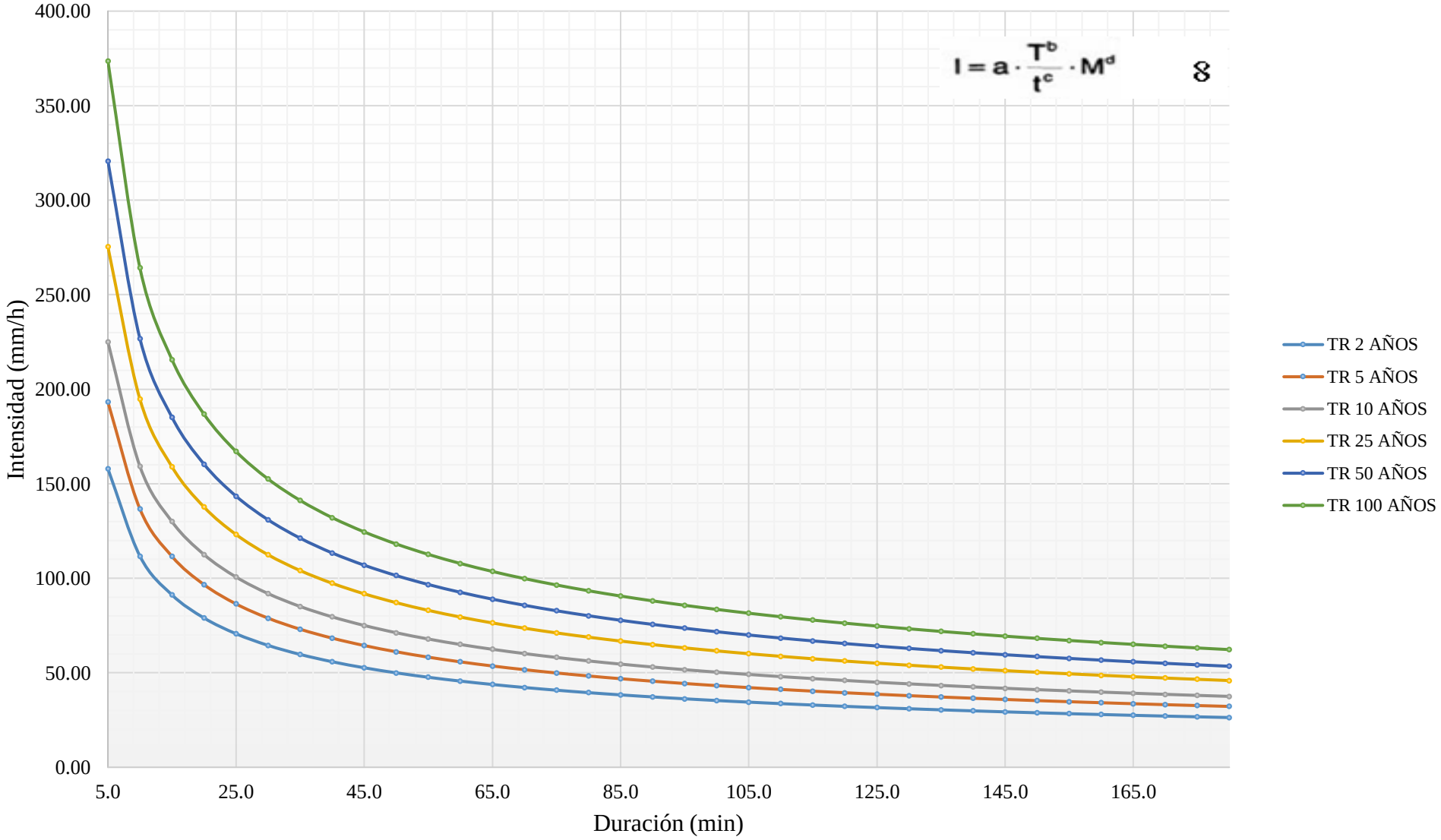
Análisis para curvas IDF cálculos con curvas sintéticas región caribe ec 8 (Díaz Granados)

Valores Calculados Para El Proyecto Vias en el municipio de Cerete

Tiempo de Duración en Horas (t)		Precipitación Media en 24 Horas (mm)						
		94.203	94.203	94.203	94.203	94.203	94.203	
		Periodo de Retorno en Años (TR)						
Minutos	**Horas**	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	
5.0	0.08	157.96	193.24	225.07	275.34	320.70	373.53	INTENSIDAD DE LLUVIAS EN MM/HORAS
10.0	0.17	111.70	136.64	159.15	194.70	226.77	264.12	
15.0	0.25	91.20	111.57	129.95	158.97	185.16	215.66	
20.0	0.33	78.98	96.62	112.54	137.67	160.35	186.76	
25.0	0.42	70.64	86.42	100.66	123.14	143.42	167.05	
30.0	0.50	64.49	78.89	91.89	112.41	130.92	152.49	
35.0	0.58	59.70	73.04	85.07	104.07	121.21	141.18	
40.0	0.67	55.85	68.32	79.58	97.35	113.38	132.06	
45.0	0.75	52.65	64.41	75.02	91.78	106.90	124.51	
50.0	0.83	49.95	61.11	71.17	87.07	101.41	118.12	
55.0	0.92	47.63	58.26	67.86	83.02	96.69	112.62	
60.0	1.00	45.60	55.78	64.97	79.48	92.58	107.83	
65.0	1.08	43.81	53.60	62.42	76.37	88.95	103.60	
70.0	1.17	42.22	51.65	60.15	73.59	85.71	99.83	
75.0	1.25	40.79	49.89	58.11	71.09	82.80	96.44	
80.0	1.33	39.49	48.31	56.27	68.84	80.17	93.38	
85.0	1.42	38.31	46.87	54.59	66.78	77.78	90.59	
90.0	1.50	37.23	45.55	53.05	64.90	75.59	88.04	
95.0	1.58	36.24	44.33	51.64	63.17	73.57	85.69	
100.0	1.67	35.32	43.21	50.33	61.57	71.71	83.52	
105.0	1.75	34.47	42.17	49.11	60.08	69.98	81.51	
110.0	1.83	33.68	41.20	47.99	58.70	68.37	79.64	
115.0	1.92	32.94	40.29	46.93	57.41	66.87	77.89	
120.0	2.00	32.24	39.44	45.94	56.20	65.46	76.25	
125.0	2.08	31.59	38.65	45.01	55.07	64.14	74.71	
130.0	2.17	30.98	37.90	44.14	54.00	62.89	73.25	
135.0	2.25	30.40	37.19	43.32	52.99	61.72	71.89	
140.0	2.33	29.85	36.52	42.53	52.03	60.61	70.59	
145.0	2.42	29.33	35.88	41.80	51.13	59.55	69.36	
150.0	2.50	28.84	35.28	41.09	50.27	58.55	68.20	
155.0	2.58	28.37	34.71	40.42	49.45	57.60	67.09	
160.0	2.67	27.92	34.16	39.79	48.67	56.69	66.03	
165.0	2.75	27.50	33.64	39.18	47.93	55.83	65.02	
170.0	2.83	27.09	33.14	38.60	47.22	55.00	64.06	
175.0	2.92	26.70	32.66	38.04	46.54	54.21	63.14	
180.0	3.00	26.33	32.21	37.51	45.89	53.45	62.25	

Coeficientes	a	24.85
	b	0.22
	c	0.50
	d	0.10

CURVAS INTENSIDAD DURACION Y FRECUENCIA - IDF P MEDIA
DEL PROYECTO VIA MARTÍNEZ - CERETE OBTENIDAS POR ISOYETAS



CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Proyecto: VIA MARTINEZ CERETE

UBICACIÓN (Km): K1+211.12 **NORTE:** 75°46'32.07"O **ESTE:** 8°52'7.20"N

TIPO DE ALCANTARILLA

CAJON:	x	ANCHO (m)	1.00	ALTURA (m)	1.00
TUBERÍA:		DIAMETRO (m)			
SIMPLE:	x				
DOBLE:					
MULTIPLE:		No. DE DUCTOS:	1		
OTRA:		CUAL:			

CARACTERISTICAS DEL DUCTO

LONGITUD (m): 6.00

MATERIAL DE TUBERIA	CONCRETO	
	METALICA	
	OTRA	
	CUAL:	

ELEMENTOS DE LA ALCANTARILLA

	ENTRADA	SALIDA
ESTRUCTURA DEL CONDUCTO (ENCOLE - DESCOLE)	x	x
MURO CABEZAL	x	x
GUARDALLANTAS	x	x
ALETAS		
POCELA O LAVADERO		
SOLADO		

ELEMENTOS			REGISTRO DE DAÑOS	CUANTIFICACIÓN UN.	CUANTIFICACIÓN CANT.
ENCOLE					
Longitud:		Sección:			
ESTRUCTURA DE ENTERADA	**MURO CABEZAL**	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.30	Altura: 40cm			
	GUARDALLANTAS	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.30	Altura: 20cm			
	ALETAS	Altura inicial:			
	Longitud:	Altura final:			
	MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Espesor:			
	Longitud:	Altura:			
	POCETA	Altura:			
	Ancho:	Largo:			
	SOLADO				
DUCTO (S):					
ESTRUCTURA DE SALIDA	**MURO CABEZAL**	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.30	Altura: 40cm			
	GUARDALLANTAS	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.30	Altura: 20cm			
	ALETAS				
	Longitud:	Ancho:			
	MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Espesor:			
	Longitud:	Altura:			
	POCETA	Altura:			
	Ancho:	Largo:			
	SOLADO				
DESCOLE					
Longitud:		Sección:			

REGISTRO FOTOGRAFICO



Estructura de entrada de la alcantarilla



Estructura de salida de la alcantarilla

OBSERVACIONES: Estructura hidráulica en mal estado, presenta fallas estructurales, fisuras, exposición de acero, acumulación de sedimentos, etc.

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Proyecto: VIA MARTINEZ CERETE

UBICACIÓN (Km): K1+422.28 **NORTE:** 75°46'25.29"O **ESTE:** 8°52'4.95"N

TIPO DE ALCANTARILLA

CAJON:	x	ANCHO (m)	1.50	ALTURA (m)	1.50
TUBERÍA:		DIAMETRO (m)			
SIMPLE:	x				
DOBLE:					
MULTIPLE:		No. DE DUCTOS:	1		
OTRA:		CUAL:			

CARACTERISTICAS DEL DUCTO

LONGITUD (m)	6.00	
MATERIAL DE TUBERIA	CONCRETO	
	METALICA	
	OTRA	
	CUAL:	

ELEMENTOS DE LA ALCANTARILLA

	ENTRADA	SALIDA
ESTRUCTURA DEL CONDUCTO (ENCOLE - DESCOLE)	x	x
MURO CABEZAL	x	x
GUARDALLANTAS	x	x
ALETAS		
POCELA O LAVADERO		
SOLADO		

ELEMENTOS			REGISTRO DE DAÑOS	CUANTIFICACIÓN UN.	CUANTIFICACIÓN CANT.
ENCOLE					
Longitud:		Sección:			
ESTRUCTURA DE ENTERADA	**MURO CABEZAL**	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.4	Altura: 20cm			
	GUARDALLANTAS	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.4	Altura: 20cm			
	ALETAS	Altura inicial: 0.6			
	Longitud: 1.2	Altura final: 1.5			
	MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Espesor:			
	Longitud:	Altura:			
	POCETA	Altura:			
	Ancho:	Largo:			
	SOLADO				
DUCTO (S):					
ESTRUCTURA DE SALIDA	**MURO CABEZAL**	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.4	Altura: 20cm			
	GUARDALLANTAS	Espesor: 20cm			
	Longitud: 1.4	Altura: 20cm			
	ALETAS	Altura inicial: 0.6			
	Longitud: 1.2	Altura final: 1.5			
	MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Espesor:			
	Longitud:	Altura:			
	POCETA	Altura:			
	Ancho:	Largo:			
	SOLADO				
DESCOLE					
Longitud:		Sección:			

REGISTRO FOTOGRAFICO



Estructura de entrada de la alcantarilla



Estructura de salida de la alcantarilla

OBSERVACIONES: Estructura hidráulica en mal estado, presenta fallas estructurales, fisuras, exposición de acero, acumulación de sedimentos, etc.

SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**		ALCALDÍA DE CERETÉ

ANEXO 5 ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN - URBANO			
Ecuación de Kirpich (Kirpich, 1940).	$Tc = 0.663 = \left(\frac{L_s^2}{Sc}\right)^{0.385}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Kirpich (1940) calibró dos modelos empíricos para estimar el tiempo de concentración en pequeñas cuencas en Pensilvania y Tennessee, con áreas que variaban entre 0,4 y 45,3 Ha, con pendientes media entre 3% y 10%. Los valores de Tc estimados, se deben multiplicar por 0,4 (flujo de canal sobre suelo natural) y 0,2 (flujo de canal revestido en concreto) (Gericke & Smithers, 2014).*
Ecuación de Millers (Miller, 1951 & ADNRW 2007)	$Tc = 10.7\left[\frac{nLs^{0.333}}{(So)^{0.2}}\right]$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) n = Coeficiente de Rugosidad Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Metodo desarrollado del nomograma de flujo laminar, concentrado y canal, fue publicado por el Instituo de Ingenieros de Australia (IEA, 1977)*
Método de Kerby (Kerby, 1959)	$Tc = 1.4394\left(\frac{nL_S}{S_c^{0.5}}\right)^{0.467}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) n = Coeficiente de Rugosidad Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Este método está basado en el uso experimental para cuencas hidrográficas con áreas de drenaje menores a 4 Ha y Pendientes menores al 1%. (Sharifi & Seyed, 2011)*
Método de Carter (Carter, 1961)	$Tc = 0.0015476\frac{L_S^{0.6}}{S_c^{0.3}} * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Método desarrollado para cuencas urbanas con áreas menores de 20,8 km2 y canales con longitud inferior a 11,3 km (Sharifi & Hosseini, 2011). Se recomienda para cuencas cuyo cauce principal tiene un flujo de canales naturales (Salimi, E. T. 2017).*
Método de la agencia federal de aviación (FAA, 1970)	$Tc = \frac{0.0165626(1.1 - \mathrm{C})Ls^{0.5}}{(100Sc)^{0.333}}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc= Pendiente media del cauce (m/m) C=Coeficiente de escorrentia metodo Racional	*Desarrollado por ingenieros de EE.UU a partir del drenaje de los campos de aviación (Salimi, E. T. 2017). Comúnmente utilizado en el flujo laminar urbano (Gericke & Smithers, 2014). Desarrollado para flujo laminar y concentrado dominante, (Sharifi & Seyed, 2011)*
Metodo empirico y semianalitico para flujo de canal (McCuen et al, 1984)	$Tc = 3.686\left[\frac{Ls^{0.5552}}{i_2^{0.7164}\,Sc^{0.2070}}\right] * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Ecuación desarrollada para estimar el Tc en 48 cuencas urbanas con areas menores de 16 km2(Gericke & Smithers, 2014).*

SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**	ALCALDÍA DE CERETÉ

ANEXO 5 ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN - URBANO

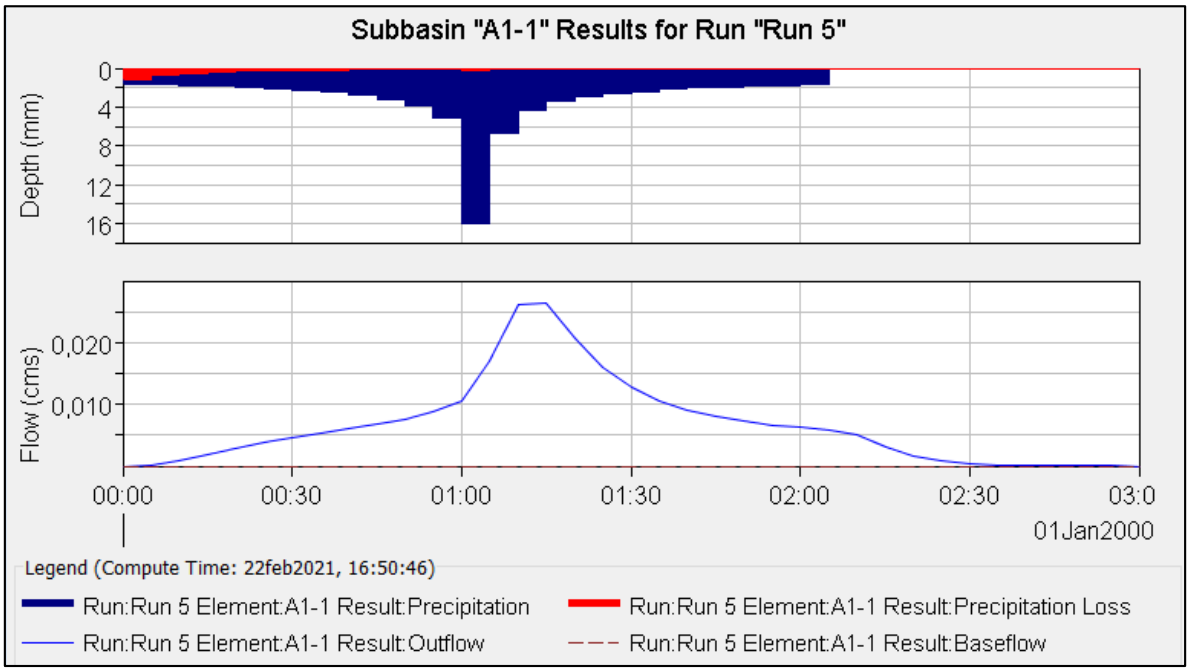
Ecuación NRCS método de la onda cinemática. (Welle and Woodward, 1986)	$Tc = \frac{5.476}{P_2^{0.5}} \left(\frac{nL_S}{\sqrt{S_C}}\right)^{0.8}$	TC = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad P2 = Precipitación maxima 24 horas TR 2 Años	*Este es un método muy utilizado en áreas pavimentadas y se basa en la relación de la intensidad y duración de la lluvia asociada a un periodo de retorno de 2 años. Adicionalmente el método fue desarrollado para evitar el proceso iterativo de la fórmula original del método de onda cinemática (Gericke & Smithers, 2014).*
Método TxDOT (1994).	$Tc = 0.702(1.1 - C)L_S^{0.5} S_C^{-0.333}$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (m) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) C = Coeficiente de escorrentia metodo Racional	*Resulta de la modificación al modelo del método de la agencia federal de aviación (FAA, 1970) (Citado en (Li & Chibber, 2008). El departamento de transtauporte de Texas (TxDOT), adoptó en su manual de diseño hidráulico, la metodología planteada anteriormente para estimar el Tc en cuencas de la región de Texas (Fang, Thompson, Cleveland, & Pradhan, Variations of Time of Concentration Estimates Using NRCS Velocity Method, 2007)*
Metodo empirico y semianalitico para flujo de canal Papadakis-Kazan (1987, USDA NRCS 2010)	$Tc = 2.154 \left[\frac{n^{0.52} L_S^{0.5}}{i^{0.38} S_c^{0.31}}\right] * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad	*Desarrolado en cuencas de aprox 12.4 km2, con datos experimentales del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, Universidad de Colorado y Universidad de Illinoi. Se realizaron analisis de regresion lineal multiple de 375 datos del Tc. (Gericke & Smithers, 2014).*
Metodo empirico para flujo de canal Sheridan's (1994, USDA NRCS 2010)	$Tc = 2.154 \left[\frac{n^{0.52} 2.2 L_S^{0.92}}{i^{0.38} S_c^{0.31}}\right] * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad	*Desarrolado en cuencas entre 2.6 y 334.4 km2 en Georgia EE.UU. Se realizaron analisis de regresion lineal multiple encontrando que la variable mas significativa fue la longitud del cauce principal. (Gericke & Smithers, 2014).*
Ecuación de Ventura - Heras(Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013)	$Tc = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75} * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (%)	*Esta ecuación es aplicable a cuencas pequeñas (Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013), adicional es utilizada en flujo de canales*

	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.		
ANEXO 5 ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN - CUENCAS			
Ecuación de Kirpich (Kirpich, 1940).	$Tc = 0.663 \left(\frac{L_s^2}{Sc}\right)^{0.385} * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Kirpich (1940) calibró dos modelos empíricos para estimar el tiempo de concentración en pequeñas cuencas en Pensilvania y Tennessee, con áreas que variaban entre 0,4 y 45,3 Ha, con pendientes media entre 3% y 10%. Los valores de Tc estimados, se deben multiplicar por 0,4 (flujo de canal sobre suelo natural) y 0,2 (flujo de canal revestido en concreto) (Gericke & Smithers, 2014).*
Empírico (Flujo de canal)(Johnstone and Cross 1949, Fang et al. 2008)	$Tc = 0.0543 \left(\frac{Ls}{Sc}\right)^{0.5} * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Johnstone y Cross (1949) desarrollaron una ecuación empírica para estimar el Tc, para cuencas hidrográficas en el río Scioto y Sandusky (Ohio) con áreas entre (65 y 4.206 km2) (Salimi, 2017). La ecuación de Johnstone y Cross relaciona para el cálculo del Tc la longitud y pendiente del canal (L/S) (Fang, Thompson, Cleveland, & Pradhan, 2007)*
California Culvert Practice (California Division of Highways 1960)	$Tc = (0.871 Ls^3 \Delta H^{-1.0})^{0.385} * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) ΔH = diferencia de elevación del canal principal (m) Ls = Longitud del cauce (km)	*Método desarrollado por la división de carreteras de california (1960), para pequeñas cuencas montañosas de California (Sharifi & Hosseini, 2011) y se obtuvo con datos de pequeñas cuencas en los EE.UU (Kaufmann, Almeida, Anache, Steffen, & Alves, 2014).*
Department of Public Works (1995)	$Tc = 0.00751 \left(\frac{11.9 Ls^3}{\Delta H}\right)^{0.385}$	Tc = Tiempo de concentración (min) ΔH = diferencia de elevación del canal principal (m) Ls= Distancia máxima (m) entre la division de la cuenca y la salida	*Esta fórmula fue desarrollada originalmente para pequeñas cuencas de montaña en California.(S. Grimaldi, , A. Petroselli , F. Tauro & M. Porfiri, 2012).*
Método Bransby-Williams (Williams 1922, Li y Chibber 2008)	$Tc = 0.683 \left(\frac{Ls\, A^{0.4}}{D\, Sc^{0.2}}\right) * 60$	T_C = Tiempo de concentración (min) A= Area de la cuenca en (Km2) Ls = Longitud del cauce (km) D = Diametro de una cuenca circular (km) Sc = Pendiente media del cauce (%)	*Williams (1922) desarrollo un estudio sobre la descarga de inundaciones en la India y Haktanir y Sezen (1990) desarrollaron su metodología por medio de un análisis de regresión utilizando datos de cuencas ubicadas en Turquía (Kaufmann, Almeida, Anache, Steffen, & Alves, 2014). Este método está basado en el uso experimental para cuencas hidrográficas con áreas de drenaje menores a 129,5 km2. (Li & Chibber, 2008)*

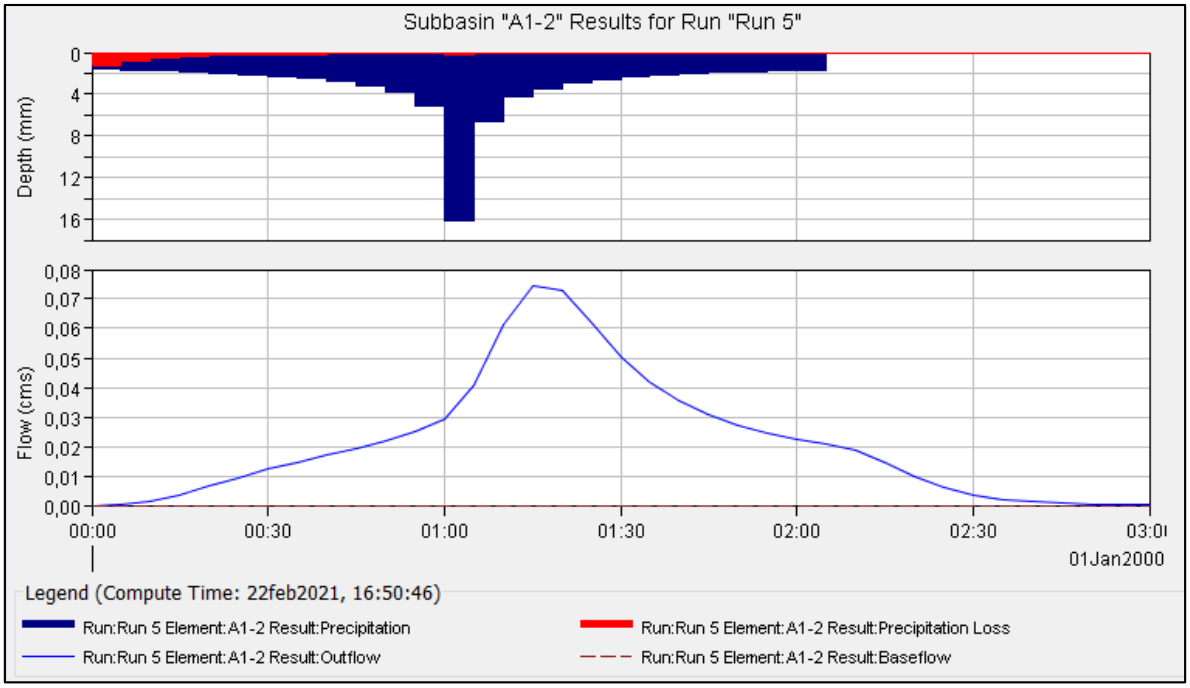
SERTET S.A.S	**CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.**	ALCALDÍA DE CERETÉ

ANEXO 5 ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN - CUENCAS

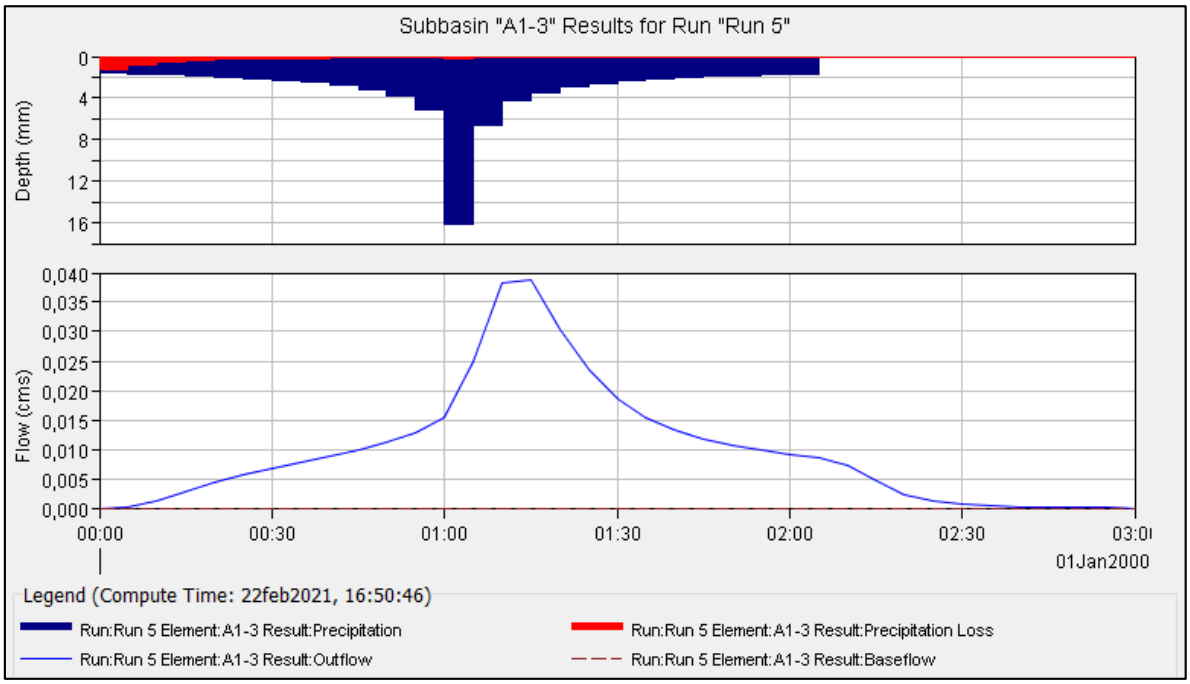
Empírico (Flujo de canal) Colorado-Sabol method (Sabol 2008)	$Tc = 0.498\left[\frac{A^{0.1}(Ls*Lc)^{0.25}}{Sc^{0.2}}\right]*60 = i$ $Tc = 1.495\left[\frac{A^{0.1}(Ls*Lc)^{0.25}}{Sc^{0.2}}\right]*60 = ii$ $Tc = 0.963\left[\frac{A^{0.1}(Ls*Lc)^{0.25}}{i_P^{0.36}\,Sc^{0.14}}\right]*60 = iii$	T_C = Tiempo de concentración (min) Lc = Distancia centroide (km), A= Area de la cuenca en (Km2) Ls = Longitud del cauce (km) ip = factor de impermeabilidad (%) Sc = Pendiente media del cauce (m/m)	*Sabol (2008) propuso tres empíricas diferentes Métodos de CT para ser utilizados en regiones de drenaje con uso geomorfológico y del suelo distintivo características en el estado de Colorado, EE. UU. Se utilizaron análisis de regresión múltiple paso a paso. Para seleccionar las variables predictoras basadas en la geomorfología dela cuenca y variables de desarrollo. Posteriormente, las cuencas se agruparon como: (i) Montañas Rocosas, Grandes Llanuras y Meseta, (ii) rural y (iii) urbano. (Gericke & Smithers, 2014).*
Metodo empirico y semianalitico para flujo de canal Papadakis-Kazan (1987, USDA NRCS 2010)	$Tc = 2.154\left[\frac{n^{0.52}L_s^{0.5}}{i^{0.38}\,S_c^{0.31}}\right]*60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) i2= I critica Tc TR 2 años (mm/h) Sc = Pendiente media del cauce (m/m) n = Coeficiente de Rugosidad	*Desarrolado en cuencas de aprox 12.4 km2, con datos experimentales del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, Universidad de Colorado y Universidad de Illinoi. Se realizaron analisis de regresion lineal multiple de 375 datos del Tc. (Gericke & Smithers, 2014).*
Ecuación de Ventura - Heras(Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013)	$Tc = 2.154\left[\frac{n^{0.52}2.2L_s^{0.92}}{i^{0.38}\,S_c^{0.31}}\right]*60$ $Tc = 0.30\left(\frac{Ls}{Sc^{0.25}}\right)^{0.75}*60$	T_C = Tiempo de concentración (min) Ls = Longitud del cauce (km) Sc = Pendiente media del cauce (%)	*Esta ecuación es aplicable a cuencas pequeñas (Vahabzadeh, Saleh, Safari, & Khosravi, 2013), adicional es utilizada en flujo de canales*



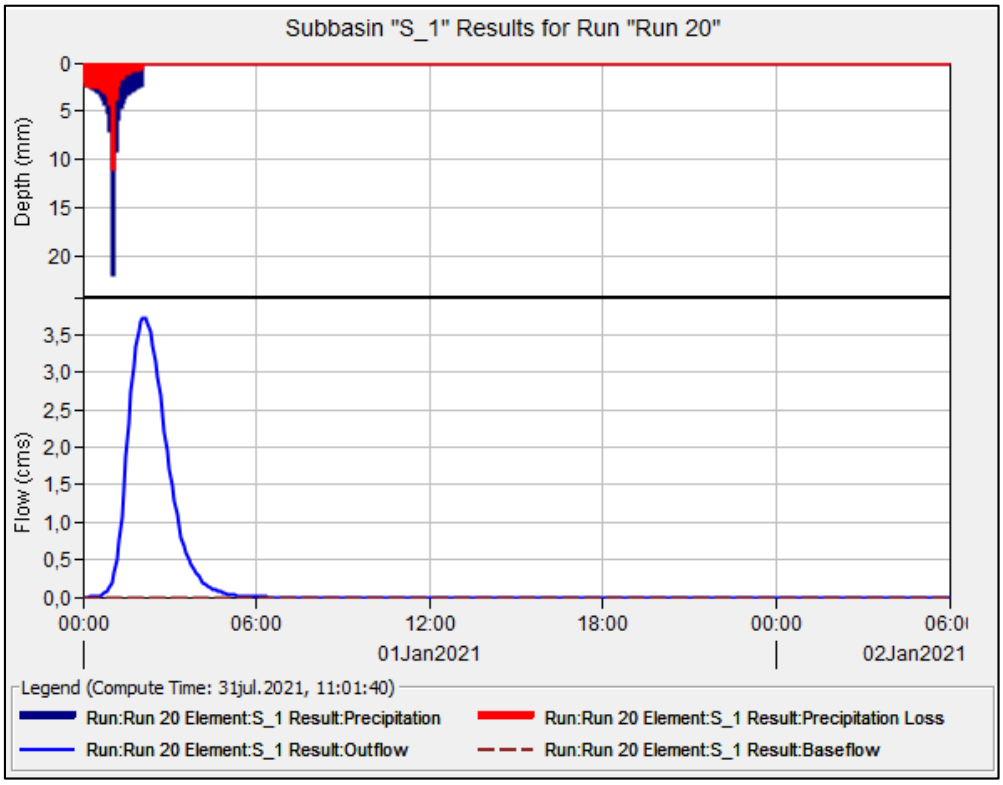
Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-1



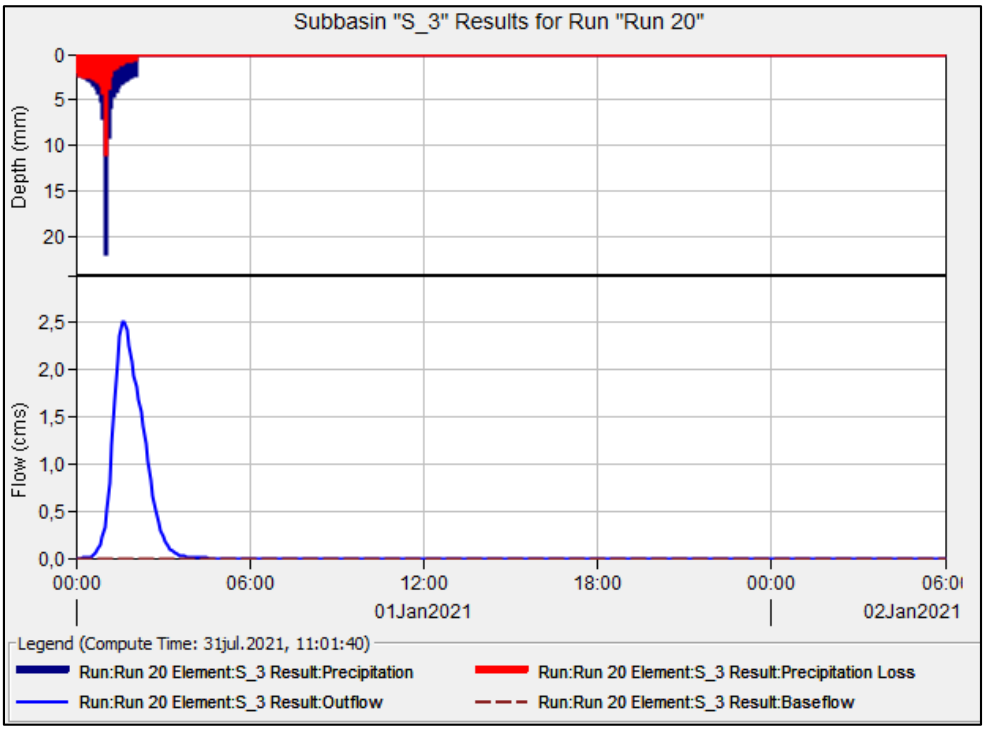
Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-2



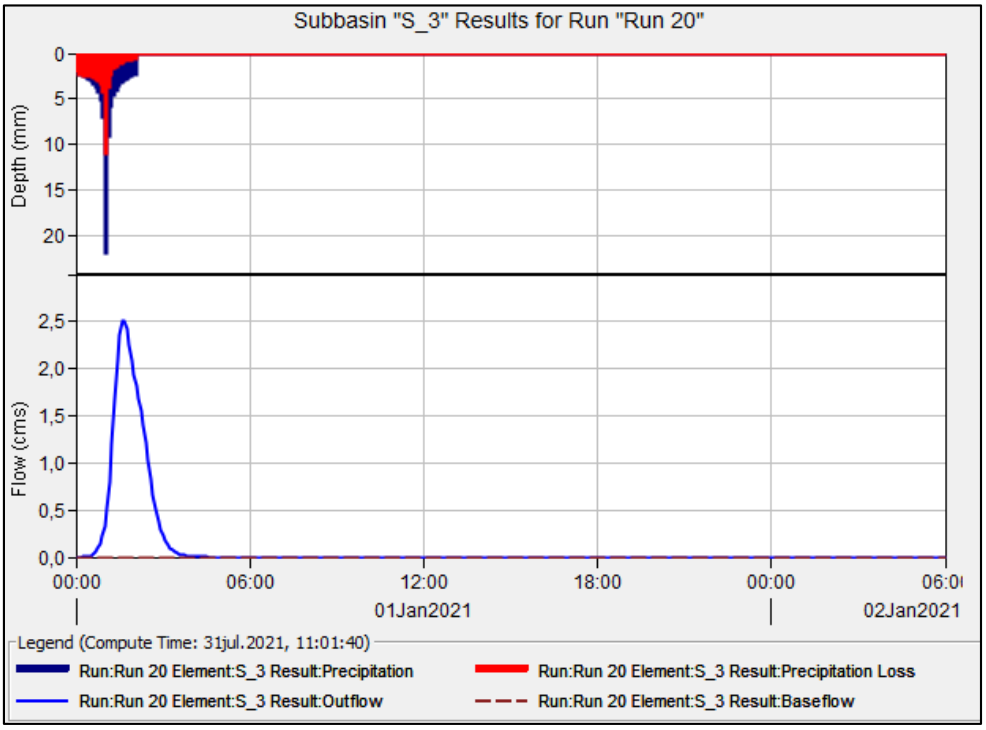
Hidrograma de Crecida TR 5 Años A1-3



Hidrograma de Crecida TR 20 Años Cuenca S_1



Hidrograma de Crecida TR 20 Años Cuenca S_3



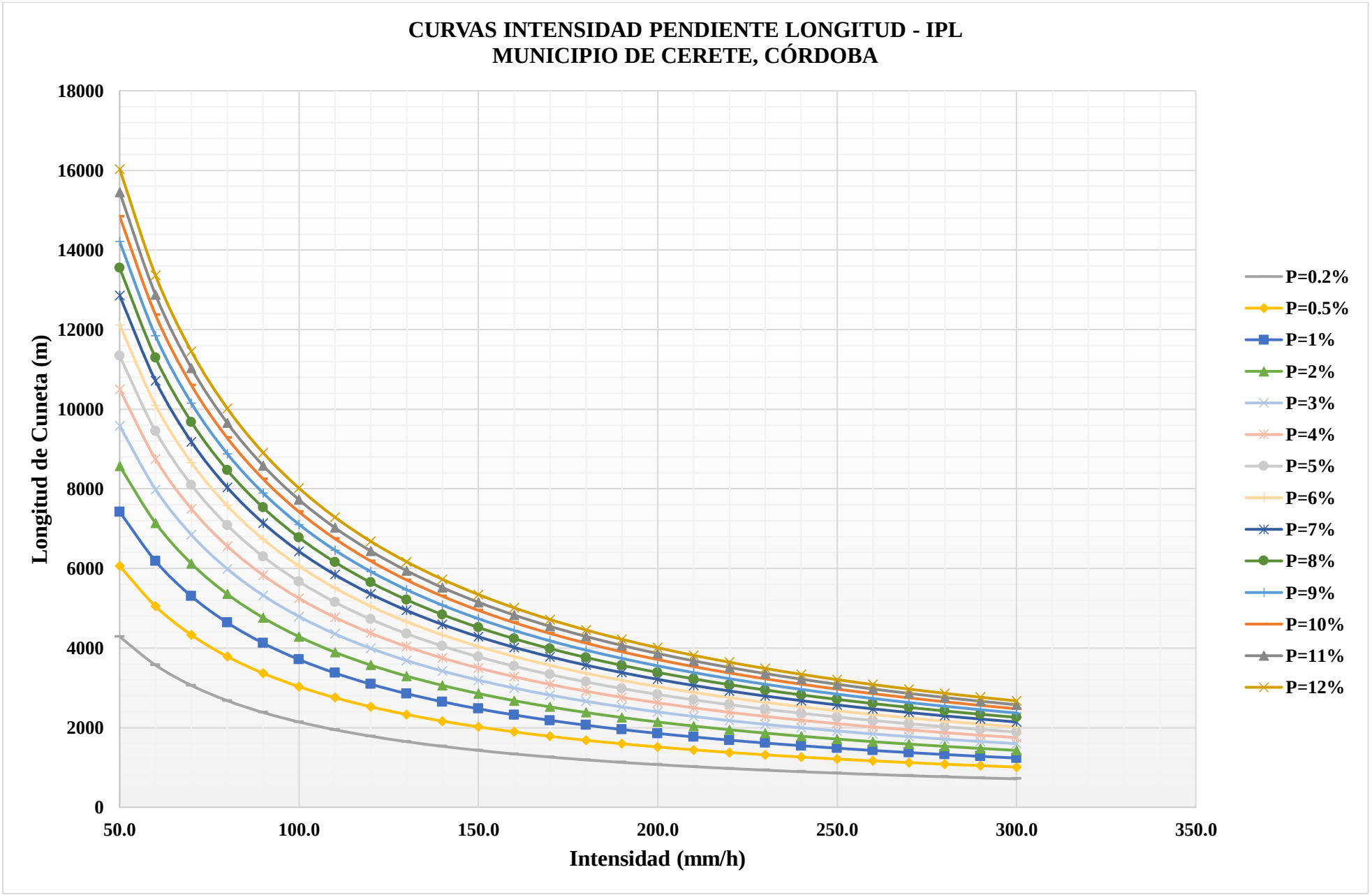
Hidrograma de Crecida TR 20 Años Cuenca S_4

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 7 CALCULO DE LONGITUD PARA GENERACION DE CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD CURVAS IPL

Valores Calculados de la Longitud de la via (m)

Intensidad (mm/h)	Pendiente Longitudinal de la Via (%)													
	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%	0.80%	0.90%	1.00%	1.10%	1.20%	1.30%	1.40%
50.0	4285	6060	7422	8570	9582	10496	11337	12120	12855	13551	14212	14844	15450	16033
60.0	3571	5050	6185	7142	7985	8747	9448	10100	10713	11292	11843	12370	12875	13361
70.0	3061	4329	5301	6122	6844	7497	8098	8657	9182	9679	10152	10603	11036	11452
80.0	2678	3788	4639	5356	5989	6560	7086	7575	8035	8469	8883	9278	9656	10021
90.0	2381	3367	4123	4761	5323	5831	6299	6733	7142	7528	7896	8247	8583	8907
100.0	2143	3030	3711	4285	4791	5248	5669	6060	6428	6775	7106	7422	7725	8017
110.0	1948	2755	3374	3896	4355	4771	5153	5509	5843	6159	6460	6747	7023	7288
120.0	1785	2525	3093	3571	3992	4373	4724	5050	5356	5646	5922	6185	6438	6681
130.0	1648	2331	2855	3296	3685	4037	4361	4662	4944	5212	5466	5709	5942	6167
140.0	1530	2164	2651	3061	3422	3749	4049	4329	4591	4840	5076	5301	5518	5726
150.0	1428	2020	2474	2857	3194	3499	3779	4040	4285	4517	4737	4948	5150	5344
160.0	1339	1894	2319	2678	2994	3280	3543	3788	4017	4235	4441	4639	4828	5010
170.0	1260	1782	2183	2521	2818	3087	3335	3565	3781	3986	4180	4366	4544	4716
180.0	1190	1683	2062	2381	2662	2916	3149	3367	3571	3764	3948	4123	4292	4454
190.0	1128	1595	1953	2255	2522	2762	2984	3190	3383	3566	3740	3906	4066	4219
200.0	1071	1515	1856	2143	2395	2624	2834	3030	3214	3388	3553	3711	3863	4008
210.0	1020	1443	1767	2041	2281	2499	2699	2886	3061	3226	3384	3534	3679	3817
220.0	974	1377	1687	1948	2178	2386	2577	2755	2922	3080	3230	3374	3511	3644
230.0	932	1317	1613	1863	2083	2282	2465	2635	2795	2946	3090	3227	3359	3486
240.0	893	1263	1546	1785	1996	2187	2362	2525	2678	2823	2961	3093	3219	3340
250.0	857	1212	1484	1714	1916	2099	2267	2424	2571	2710	2842	2969	3090	3207
260.0	824	1165	1427	1648	1843	2019	2180	2331	2472	2606	2733	2855	2971	3083
270.0	794	1122	1374	1587	1774	1944	2100	2244	2381	2509	2632	2749	2861	2969
280.0	765	1082	1325	1530	1711	1874	2025	2164	2296	2420	2538	2651	2759	2863
290.0	739	1045	1280	1478	1652	1810	1955	2090	2216	2336	2450	2559	2664	2764
300.0	714	1010	1237	1428	1597	1749	1890	2020	2143	2258	2369	2474	2575	2672

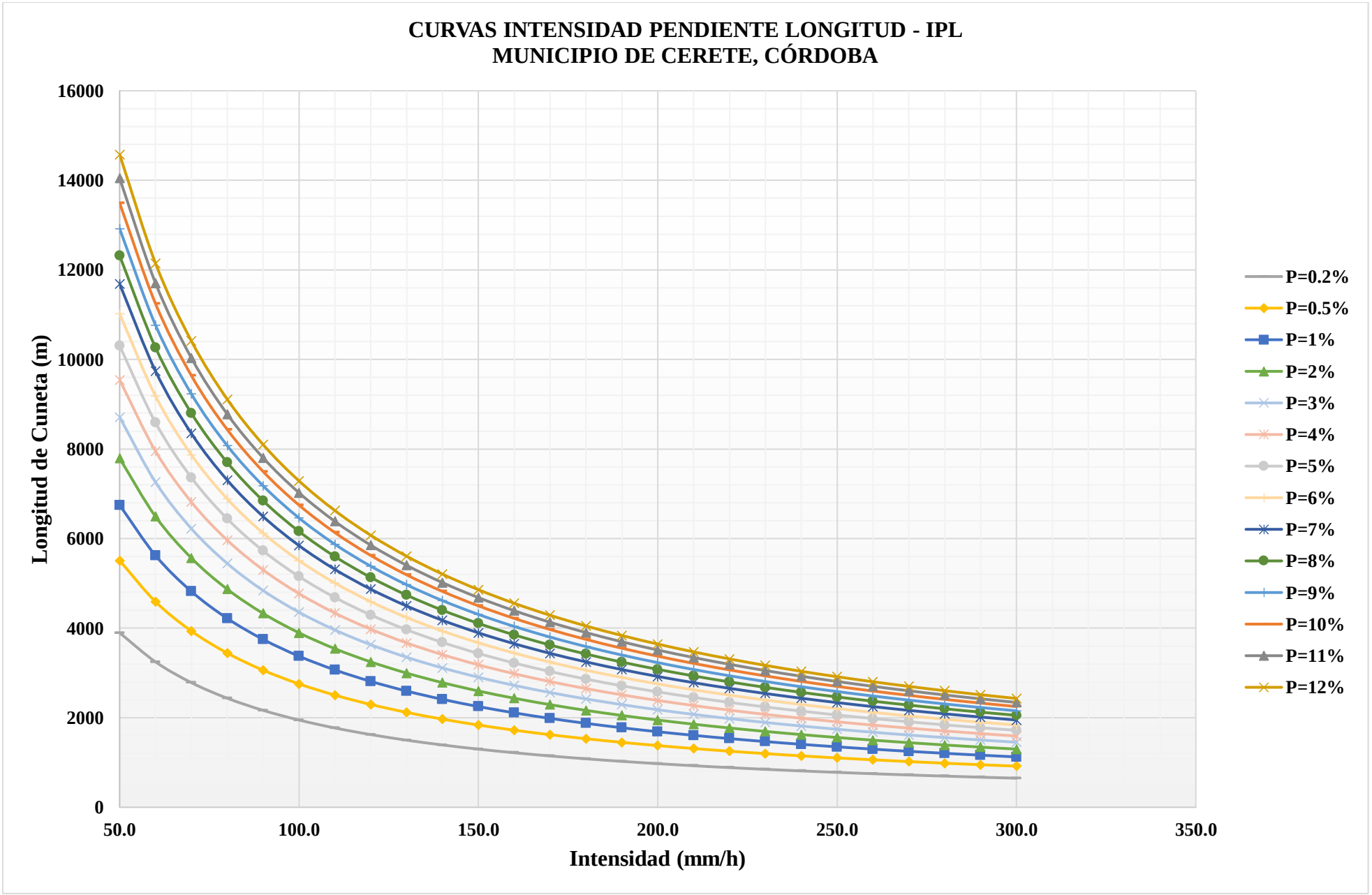

CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD - IPL
MUNICIPIO DE CERETE, CÓRDOBA
Longitud de Cuneta (m)
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
50.0
100.0
150.0
200.0
250.0
300.0
350.0
Intensidad (mm/h)
P=0.2%
P=0.5%
P=1%
P=2%
P=3%
P=4%
P=5%
P=6%
P=7%
P=8%
P=9%
P=10%
P=11%
P=12%

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 8 CALCULO DE LONGITUD VIAL CON DE CURVAS IPL TR 25 AÑOS

Valores Calculados de la Longitud de la via (m)

Intensidad (mm/h)	Pendiente Longitudinal de la Via (%)													
	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%	0.80%	0.90%	1.00%	1.10%	1.20%	1.30%	1.40%
50.0	3896	5509	6747	7791	8711	9542	10307	11018	11687	12319	12920	13495	14046	14576
60.0	3246	4591	5623	6493	7259	7952	8589	9182	9739	10266	10767	11246	11705	12147
70.0	2783	3935	4820	5565	6222	6816	7362	7870	8348	8799	9229	9639	10033	10411
80.0	2435	3443	4217	4869	5444	5964	6442	6886	7304	7699	8075	8434	8779	9110
90.0	2164	3061	3749	4328	4839	5301	5726	6121	6493	6844	7178	7497	7803	8098
100.0	1948	2755	3374	3896	4355	4771	5153	5509	5843	6159	6460	6747	7023	7288
110.0	1771	2504	3067	3541	3959	4337	4685	5008	5312	5599	5873	6134	6384	6625
120.0	1623	2295	2811	3246	3629	3976	4294	4591	4869	5133	5383	5623	5852	6073
130.0	1498	2119	2595	2997	3350	3670	3964	4238	4495	4738	4969	5190	5402	5606
140.0	1391	1968	2410	2783	3111	3408	3681	3935	4174	4400	4614	4820	5016	5206
150.0	1299	1836	2249	2597	2904	3181	3436	3673	3896	4106	4307	4498	4682	4859
160.0	1217	1722	2109	2435	2722	2982	3221	3443	3652	3850	4038	4217	4389	4555
170.0	1146	1620	1985	2292	2562	2807	3031	3241	3437	3623	3800	3969	4131	4287
180.0	1082	1530	1874	2164	2420	2651	2863	3061	3246	3422	3589	3749	3902	4049
190.0	1025	1450	1776	2050	2292	2511	2712	2900	3075	3242	3400	3551	3696	3836
200.0	974	1377	1687	1948	2178	2386	2577	2755	2922	3080	3230	3374	3511	3644
210.0	928	1312	1607	1855	2074	2272	2454	2623	2783	2933	3076	3213	3344	3470
220.0	885	1252	1533	1771	1980	2169	2342	2504	2656	2800	2936	3067	3192	3313
230.0	847	1198	1467	1694	1894	2074	2241	2395	2541	2678	2809	2934	3053	3169
240.0	812	1148	1406	1623	1815	1988	2147	2295	2435	2566	2692	2811	2926	3037
250.0	779	1102	1349	1558	1742	1908	2061	2204	2337	2464	2584	2699	2809	2915
260.0	749	1059	1298	1498	1675	1835	1982	2119	2247	2369	2485	2595	2701	2803
270.0	721	1020	1250	1443	1613	1767	1909	2040	2164	2281	2393	2499	2601	2699
280.0	696	984	1205	1391	1555	1704	1840	1968	2087	2200	2307	2410	2508	2603
290.0	672	950	1163	1343	1502	1645	1777	1900	2015	2124	2228	2327	2422	2513
300.0	649	918	1125	1299	1452	1590	1718	1836	1948	2053	2153	2249	2341	2429


CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD - IPL
MUNICIPIO DE CERETE, CÓRDOBA
Longitud de Cuneta (m)
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
50.0
100.0
150.0
200.0
250.0
300.0
350.0
Intensidad (mm/h)
P=0.2%
P=0.5%
P=1%
P=2%
P=3%
P=4%
P=5%
P=6%
P=7%
P=8%
P=9%
P=10%
P=11%
P=12%

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS DE TERCER ORDEN EN EL CORREGIMIENTO MARTÍNEZ, BARRIO CHUCHURUBÍ Y LA VÍA QUE COMUNICA EL CASCO URBANO DE CERETÉ CON LA VEREDA EL QUEMADO, EN EL CORREGIMIENTO DEL RETIRO DE LOS INDIOS, EN EL MUNICIPIO DE CERETÉ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

ANEXO 9 CANTIDADES DE OBRA SOBRE EL EJE DE LA VÍA MARTINEZ - CERETE

ITEM	DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	UNIDAD	CANTIDAD
1	**Box Culvert 1.0x1.0m**			
1.1	Excavaciones varias en material comun bajo agua (a maquina)	Cartilla guía para la evaluación de cantidad y ejecución de presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea (INVIAS, 2017)	M3	19.47
1.2	Geotextil para separacion de suelos y capas granulares (NT 1600)		M2	9.44
1.3	Mejoramiento de la subrasante con adicion de material (material de recebo y rajon)		M3	2.66
1.4	Relleno para estructuras con material granular tipo SBG		M3	1.77
1.5	Concreto Resistencia 14 Mpa (F) para solado		M3	0.89
1.6	Cargue y retiro de material sobrante, con acarrero libre		M3	19.47
1.7	Concreto resistencia 21 Mpa clase D para Losa Inferior, Solera y Cimentacion de Aletas de Box Culvert		M3	4.19
1.8	Concreto resistencia 21 Mpa clase D para Losa Superior, Bordillos, Muros y Aletas de Box Culvert		M3	6.80
1.9	Acero de refuerzo Fy=420 Mpa		KG	1408.24
2	**Box Culvert 1.5 x 1.5m**			
2.1	Excavaciones varias en material comun bajo agua (a maquina)	Cartilla guía para la evaluación de cantidad y ejecución de presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea (INVIAS, 2017)	M3	63.72
2.2	Geotextil para separacion de suelos y capas granulares (NT 1600)		M2	24.78
2.3	Mejoramiento de la subrasante con adicion de material (material de recebo y rajon)		M3	7.08
2.4	Relleno para estructuras con material granular tipo SBG		M3	4.72
2.5	Concreto Resistencia 14 Mpa (F) para solado		M3	2.36
2.6	Cargue y retiro de material sobrante, con acarrero libre		M3	63.72
2.7	Concreto resistencia 21 Mpa clase D para Losa Inferior, Solera y Cimentacion de Aletas de Box Culvert		M3	13.30
2.8	Concreto resistencia 21 Mpa clase D para Losa Superior, Bordillos, Muros y Aletas de Box Culvert		M3	20.61
2.9	Acero de refuerzo Fy=420 Mpa		KG	4592.23
3	Construcción de carcamo en concreto rigido de 0.50 m de ancho por 0.40 m de alto.	-	ML	80.00
4	Caja de revisión de 0.50 m de ancho x 0.50 m de largo x 0.60 m de profundidad en concreto rigido		U	1.00
5	Excavación para carcamo 0.50 m ancho x 0.40 m de profundidad promedio	-	M3	68.00
6	Excavación para caja de revisión de 0.50 m x 0.50 m x 0.60 m	-	M3	0.15