CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CARRERA 16 ENTRE CALLE 16 Y CALLE 31 EN EL MUNICIPIO DE MAGANGUÉ, BOLÍVAR

ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MANEJO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL DE TRAMOS VIALES.

LUIS FELIPE MONTES PADILLA
Ingeniero Civil
Especialista en Recursos Hídricos
Especialista en Gerencia y Dirección de Obras.
M.P: 22202 – 316659 COR

Revisión	Modificaciones	Fecha
1	Entrega de estudio hidrológico y diseño hidráulico	23/02/2025

Elaboración – Revisión – Aprobación

	Diseñador:		Revisor:		Interventor:	
Revisión	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
V1	L.F.M.P.					

CONTENIDO

CONTENIDO 2
1. INTRODUCCIÓN. 5
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO. 5
2.1. Objetivo General. 5
2.2. Objetivos específicos. 5
3. NORMATIVA. 6
4. UNIDADES 6
5. GLOSARIO. 6
6. INFORMACIÓN DE REFERENCIA. 6
7. ASPECTOS GENERALES DE LA SIMULACION HIDRAULICA E HIDROLOGICA. 7
7.1. Generalidades de la simulación hidráulica e hidrológica. 7
7.2. Diseño hidráulico e hidrológico. 7
7.3. Determinación de Caudales. 7
7.4. Transformación de la lluvia en escorrentía. 9
7.4.1. Tránsito de caudales. 10
7.4.2. Distribuciones de probabilidad empleadas para seleccionar la lluvia de diseño. 10
7.5. Hidráulicas de canales. 10
7.5.1. Flujo Uniforme. 11
7.5.2. Flujo no Uniforme o Gradualmente Variado. 12
8. PARAMETROS DE DISEÑO. 13
8.1. Velocidades en los canales de drenaje de aguas lluvias. 13
8.2. Coeficiente de rugosidad. 15
8.3. Periodo de retorno de la lluvia de diseño. 16
8.4. Caudal de diseño utilizando el método racional. 18
8.4.1. Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía. 20
8.4.2. Curvas de Intensidad-Duración -Frecuencia. 22
9. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. 24
10. COMPONENTE MORFOMETRICO. 26
10.1. Áreas de cuenca y puntos de descarga. 26
10.2. Cauce Principal. 27
10.3. Tiempo de concentración ($\boldsymbol{tc}$) 28

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

11. COMPONENTE HIDROLOGICO 31
11.1. CALCULO DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO. 31
11.1.1. Recopilación de información de estaciones meteorológicas. 31
11.1.2. Evaluación de datos homólogos. 33
11.1.3. Obtención curva IDF(Intensidad-Duración-Frecuencia) y cálculo de la precipitación. 37
11.2. DETERMINACION DE CAUDAL DE DISEÑO METODO RACIONAL. 49
12. COMPONENTE HIDRÁULICO 51
12.1. DETERMINACION DE SECCIONES HIDRÁULICAS DE VIAS PROYECTADAS MEDIANTE HEC RAS 5.0. 51
12.2. CHEQUE DE SUMIDERO EXISTENTE Y ALCANTARILLA PROYECTADA. 60
12.3. CHEQUEO SECCIÓN TRANSVERSAL DE ALCANTARILLA. 63
13. RESULTADOS. 65
14. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES. 66
15. ANEXOS 68
16. REFERENCIAS. 68

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Localización zona de estudio. 24
Ilustración 2. Áreas de drenaje. 26
Ilustración 3. Ubicación y características de la estación seleccionada. 31
Ilustración 4. Polígono de Thiessen de estaciones con registro pluviométrico. 32
Ilustración 5. Perspectiva Modelación Hidráulica Carrera 16 (K0+000 y K0+250). 51
Ilustración 6. Perspectiva Modelación Hidráulica Carrera 16 (K0+250 y K0+590). 52
Ilustración 7. Perfil lámina de Carrera 16 (K0+000 y K0+250). 52
Ilustración 8. Perfil lámina de Carrera 16 (K0+250y K0+590). 52
Ilustración 9. Sección aguas abajo y aguas arriba; nivel de agua resultado de la modelación Hidráulica de la Carrera 16 (K0+000 y K0+250). 53
Ilustración 10. Sección aguas abajo y aguas arriba; nivel de agua resultado de la modelación Hidráulica de la Carrera 16 (K0+250 y K0+590). 53
Ilustración 11. Chequeo hidráulico de alcantarilla proyectada. 64
Ilustración 12. Esquema típico perspectiva de vía 66
Ilustración 13. Alcantarilla Transversal proyectada y empalme con sumidero existente. 67

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de unidades para el proyecto. 6
Tabla 2.Velocidades máximas en canales revestidos (m/s). 14
Tabla 3.Velocidades máximas en canales no revestidos según el material en suspensión (m/s). ... 15
Tabla 4.Coeficientes de rugosidad de Manning. 16
Tabla 5. Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema. 17
Tabla 6. Períodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial. 17
Tabla 7.Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema. 18
Tabla 8. Coeficientes de impermeabilidad. 21
Tabla 9.Valores del Coeficiente de escorrentía en áreas urbanas. 21
Tabla 10. Valores del Coeficiente de escorrentía en áreas desarrolladas y no desarrolladas. 22
Tabla 11.Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF). 23
Tabla 12. Coordenadas punto de referencia del proyecto. 25
Tabla 13. Rangos de pendientes de acuerdo a IGAC. 27
Tabla 14. Áreas de drenaje, tributarios y puntos de descarga. 27
Tabla 15. Pendiente media de los cauces principales. 28
Tabla 16. Ecuaciones Tiempo de concentración. 29
Tabla 17. Cálculo de tiempos de concentración para tramos viales proyectados. 30
Tabla 18.Cálculos método de identificación de datos dudosos -Box Plot. 33
Tabla 19.Cálculos método de identificación de datos dudosos -Water Resources Council 35
Tabla 20. Constantes regionales para obtención de curvas IDF 37
Tabla 21.Precipitaciones máximas multianuales en 24 horas. 38
Tabla 22.Precipitaciones multianuales. 39
Tabla 23. Datos de entrada para programación IDF. 43
Tabla 24.Tabla de intensidades - Tiempo de duración(mm/h) 43
Tabla 25. Ponderación coeficientes de escorrentía. 49
Tabla 26. Cálculo de caudales de tramos viales proyectados. 50
Tabla 27. Resumen de modelación hidráulica Carrera 16 (K0+000 y K0+250). 54
Tabla 28. Resumen de modelación hidráulica Carrera 16 (K0+250 y K0+590). 56
Tabla 29. Parámetros para el cálculo de velocidad de salpicaduras. 60
Tabla 30. Chequeo longitud de rejilla y unidades por sección de apertura en sumidero existente. 62
Tabla 31. Chequeo longitud de rejilla y unidades por sección de apertura en Alcantarilla transversal proyectada. 63
Tabla 32. Resultados estimación de caudales y chequeos hidráulicos de tramos viales. 65
Tabla 33. Resultados estimación de caudales y chequeos hidráulicos de alcantarilla transversal proyectada. 65

LISTADO DE GRAFICOS

Gráfico 1.Distribución temporal de la precipitación promedio mensual. 42
Gráfico 2.Curvas IDF sintéticas regionalizadas. 48

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN.

Las manifestaciones de carácter hidrológico e hidráulico que se originan en las cuencas de drenaje constituyen uno de los sistemas geomorfológicos más destacados que operan en la superficie terrestre. Las cuencas actúan como sistemas de procesos y respuestas en donde la escorrentía superficial es su consecuencia más evidente, además de la responsable de catástrofes y desastres naturales, y de numerosos daños relacionados con las avenidas e inundaciones.

A continuación, se presenta el estudio de hidrología y diseño hidráulico de los tramos viales ubicados en zona urbana del municipio de Magangué, departamento de Bolívar. Este estudio dará respuesta al manejo de las aguas superficiales resultado de eventos de lluvias; contemplando el análisis de precipitaciones, estimación de caudales instantáneos resultado de las áreas establecidas dentro de la zona de influencia proyectada. Adicionalmente, se presenta modelaciones hidráulicas de los tramos principales. Todo estos resultados se enmarcaran conforme a los criterios, parámetros y procedimientos establecido en las normativas locales y nacionales vigentes.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

2.1. Objetivo General.

Realizar el estudio hidrológico y diseño hidráulico para el manejo de la escorrentía superficial de los tramos viales, como objeto de: “CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CARRERA 16 ENTRE CALLE 16 Y CALLE 31 EN EL MUNICIPIO DE MAGANGUÉ, BOLÍVAR”

2.2. Objetivos específicos.

- Establecer y caracterizar la morfología del área de drenaje para las zonas proyectadas y las áreas incidentes por topografía, para los tramos viales ubicados en zona urbana del municipio de Magangué, departamento de Bolívar.
- Analizar el comportamiento de las unidades hidrológicas según sus área de drenaje.
- Calcular la transformación de la precipitación en escorrentía.
- Determinar el caudal de diseño para Los tramos viales proyectados.
- Determinar las alturas máximas de las láminas de agua de los tramos viales, mediante la implementación de un software de modelación hidráulica (HEC RAS) y con base a la información del diseño geométrico.
- Determinar las secciones hidráulicas para las tramos viales proyectados.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

3. NORMATIVA.

- Manual de Drenaje para Carreteras. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. Subdirección de Apoyo Técnico. Diciembre de 2009.
- RAS, Resolución No. 0330 del 2017 y No.0799 del 2021. Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Ministerio de Desarrollo

4. UNIDADES

Para el desarrollo de los diseños de ingeniería se utilizará el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Tabla 1. Sistema de unidades para el proyecto.

MAGNITUD	SISTEMA INTERNACIONAL
Longitud	Metro, (m)
Tiempo	Segundo, (s)
Masa	Kilogramo, (kg)
Fuerza	Kilonewton, (kN)
Área	Metro cuadrado, (m^2)
Volumen	Metro cúbico, (m^3)
Esfuerzo	Pascales, (Pa) Kilopascal, (kPa) Megapascal, (MPa)
Densidad	Kilogramo por metro cúbico, (kg/m^3)
Peso específico	Kilonewton por metro cúbico, (kN/m^3)
Velocidad	Metro por segundo, (m/s) Kilómetro por hora, (km/h)
Aceleración	Metro por segundo cuadrado, (m/s^2)

Fuente: Autor.

5. GLOSARIO.

- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- IDF: Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia.
- NSR: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
- NTC: Norma Técnica Colombia.
- RAS: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

6. INFORMACIÓN DE REFERENCIA.

- Plano de levantamiento topográfico en formato CAD.
- Plano diseño Geométrico de vías en formato CAD.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

7. ASPECTOS GENERALES DE LA SIMULACION HIDRAULICA E HIDROLOGICA.

7.1. Generalidades de la simulación hidráulica e hidrológica.

Desde el punto de vista del contenido de los modelos hidráulicos e hidrológicos, así corresponden las materias que ocupan a estas dos ciencias, circunscribiéndose cada una a sus definiciones.

La hidrología es la encargada del estudio de las características físicas y químicas de las aguas continentales y marinas, de sus movimientos y de las transformaciones que experimentan a lo largo del ciclo hidrológico. (Galiana J, 1987).

La hidráulica es la encargada de estudiar el equilibrio y el movimiento de los fluidos, es decir, el comportamiento mecánico del agua en reposo y en movimiento en conducciones abiertas y cerradas, entendiendo como tales los cauces, canales y tuberías, así como estructuras y dispositivos hidráulicos por los que fluye el agua y medios permeables por los que se filtra. (López A, 1997).

7.2. Diseño hidráulico e hidrológico.

El diseño hidrológico es el primer paso de evaluación en una cuenca, de tal manera que permita estimar el comportamiento de los flujos y poder diseñar las estructuras hidráulicas acorde a las características de la cuenca. Existen muchos factores que están envueltos en el diseño de recursos hidráulicos; estos incluyen: La seguridad y salud pública, la economía, la estética, los aspectos legales y los factores de ingeniería tales como diseños geotécnicos y estructurales. (Ven Te Chow 1994).

7.3. Determinación de Caudales.

Una lluvia de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Una lluvia de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, con base en un Hidrograma de diseño.
Las lluvias de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación en un sitio o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes. Existen diferentes métodos para la determinación de los caudales entre los cuales podemos destacar.

- **Método del número de la curva (C.N), del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos (NRCS).** Este método se basa en la relación

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

precipitación – escurrimiento, por lo tanto, se ajusta a datos de lámina obtenidos del pluviómetro en un tiempo tal que las condiciones del suelo húmedo permitan la escorrentía superficial. (Barros, G. 1990).

El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos (1972), desarrolló este método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. La hipótesis de este método consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales. (Ven Te Chow 1994):

Dónde:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (1)$$

Fa= Abstracción continuada a la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca. S= Retención potencial máxima.

Pe = Exceso de precipitación o escorrentía directa.

P = Precipitación total o profundidad de precipitación. Ia = Abstracción inicial antes del encharcamiento.

Del principio de continuidad:

$$P = Pe + Ia + Fa \quad (2)$$

Combinando 1 y 2 y resolviendo para Pe se encuentra:

$$Pe = \frac{(p - Ia)^2}{P - Ia + s} \quad (3)$$

Esta es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método del número de la curva.

Para cuencas experimentales pequeñas (Ven Te Chow 1994) recomienda usar las siguientes ecuaciones:

$$Pe = \frac{(p - 0.20 * s)^2}{P + 0.8 * s} \quad (4)$$

$$Ia = 0.20 * s \quad (5)$$

Al representar en graficas las variables P y pe para muchas cuencas se estandarizaron un conjunto de curvas, de las cuales se definió un número adimensional de curvas, tal que 0 ≤ C.N ≤100 para superficies impermeables y superficies de agua, C.N = 100 para superficies naturales. Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (1972).

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Estos números de curva se aplican para las siguientes condiciones antecedentes de humedad (AMC):

AMC I: Condición seca. AMC II: Condición normal. AMC III: Condición húmeda.

Los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN\ (I) = \frac{4.22 * CN(II)}{10 - 0.058 * CN(II)} \quad (6)$$

$$CN\ (III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)} \quad (7)$$

Estos han sido tabulados por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (1972), con base en el tipo de suelo y el uso de las tierras.

El método del número de la curva del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales para análisis de lluvia- escorrentía puede aplicarse para determinar el incremento en la cantidad de escorrentía que se origina por la urbanización. Así mismo
consigna que los mayores cambios en los caudales en las cuencas urbanas se deben al aumento de escorrentía debido al incremento de las zonas impermeables, productos de la pavimentación y de las construcciones, lo cual reduce la cantidad de infiltración y a los cambios en la eficiencia hidráulica asociado con canales artificiales, cunetas y sistema de recolección de drenaje de tormentas, que aumentan la velocidad del flujo y la magnitud de los picos de creciente. (Ven Te Chow, 1994).
Para la elección del número de curva se supone que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia las calles, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

7.4. Transformación de la lluvia en escorrentía.

Una vez que se ha estudiado el régimen de precipitaciones de una cuenca, obtenido una lluvia de diseño asociada a un determinado periodo de retorno y estimado las pérdidas con alguno de los modelos disponibles, de manera tal de encontrar la lluvia neta o efectiva, el paso siguiente es transformar esa lluvia efectiva en escorrentía o caudal. Esta transformación puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos. El más popular es el del Hidrograma unitario, introducido por Sherman en los años 30. También es posible la utilizando modelos de depósito y, si el nivel de información es el adecuado, también se

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

pueden usar modelos basados en las ecuaciones del movimiento del fluido, especialmente en zonas urbanas.

7.4.1. Tránsito de caudales.

Se denomina propagación de caudales al procedimiento a través del cual se puede determinar el Hidrograma de caudal en un punto de un curso de agua utilizando Hidrograma conocidos en uno o más puntos aguas arriba; dicho procedimiento puede aplicarse a sistemas agregados o distribuidos. Cuando se aplica a sistemas agregados, el flujo se calcula como una función del tiempo en un lugar en particular, lo que también se conoce como propagación hidrológica. Cuando se aplica a sistemas distribuidos, el flujo se calcula como una función del espacio y del tiempo a través del sistema, lo que se conoce también como propagación hidráulica. (Nania L, 2003).

7.4.2. Distribuciones de probabilidad empleadas para seleccionar la lluvia de diseño.

Se pueden utilizar diferentes metodologías entre las cuales se puede destacar.

- **Período de retorno.** Se define como el periodo de tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado por lo menos una vez, para fijar el periodo de retorno se tienen en cuenta tres criterios (Barros, 1994).
- **Criterios económicos.** Tales como la comparación de los costos anuales de las obras con los daños producidos por las crecientes.
- **Criterios usuales.** Tales como la vida útil de la obra, tipo de estructura, facilidad de reparación y ampliación, peligro de vidas humanas.
- **Criterio de riesgo.** Se asume por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida. Se define como la probabilidad de ocurrencia P (X ≥ X0) o como probabilidad de no ocurrencia P (X ≤ X0) = 1 - P (X ≥ X0).
  De acuerdo con Finley R. (1985), el tiempo de retorno seria usado comúnmente en lugar de la probabilidad P, para definir crecimiento de diseño. En la tabla 3; se puede observar los periodos de retorno recomendados según el tipo de proyecto. El periodo de retorno y la probabilidad son recíprocos, es decir:
  $$P = \frac{1}{Tt} \quad (8)$$

7.5. Hidráulicas de canales.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

7.5.1. Flujo Uniforme.

El flujo uniforme en canal abierto es la condición hidráulica en la cual la profundidad del agua y la sección transversal del canal no cambian sobre algún tramo del canal. Esos criterios requieren que la línea de gradiente hidráulico, la superficie del agua y el fondo del canal sean todos paralelos. En otras palabras, el cambio de energía total sobre la extensión del canal es exactamente igual a la pérdida de energía de la fricción limítrofe y la turbulencia.

Dos ecuaciones de flujo uniforme son frecuentemente usadas para problemas de canales abiertos: la fórmula de Chezy y la ecuación de Manning, las cuales relacionan las siguientes variables; (Ven Te Chow 1994):

La fórmula de Chezy fue desarrollada en 1775; ésta relaciona la velocidad del canal a la rugosidad, el radio hidráulico y la pendiente del canal:

$V = C\sqrt{RS}\ (9)$

Donde;

R = Radio hidráulico.

S = pendiente de energía, la cual es igual a la pendiente del lecho del canal bajo condiciones de flujo uniforme.

El factor C puede ser relacionado al factor de fricción de Darcy F, usado en flujos de tuberías con la relación:

$C = \sqrt{8G/F}\ (10)$

En donde G es la constante gravitacional.

La ecuación de Chezy está basada en dos asunciones principales: la fuerza de fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad y la asunción de flujo uniforme de que la fuerza de gravedad está balanceada por la resistencia friccional de la corriente. La ecuación de Chezy ha sido usada para flujo en tubería a presión, así como también en flujo de canal abierto. El coeficiente C para condiciones de canal abierto puede ser calculado usando relaciones de Chow V. (1959).

Para aplicaciones más modernas, sin embargo, la ecuación de Manning es usada en vez de la de Chezy para cálculos en canales abiertos. La ecuación de Manning fue presentada en 1890; ésta describe la rugosidad con el coeficiente de rugosidad de Manning. (Ven The Chow 1994)

$C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}\ (11)$

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Dónde:
R = Radio hidráulico, o área transversal A dividida por el perímetro humedecido P.
S = pendiente de energía, la cual es igual a la pendiente del lecho del canal bajo condiciones de flujo uniforme.
n =Coeficiente de rugosidad, relacionada a la pérdida de fricción asociada con el fluir del agua sobre el fondo y los lados del canal.

La selección del coeficiente de rugosidad n está basada usualmente en el "mejor juicio ingenieril" o en valores prescritos por ordenanzas de diseño municipal. Están disponibles varias tablas en la literatura general para la selección del coeficiente de rugosidad para un canal, caudal y profundidad del flujo. (Ven Te Chow 1994).

7.5.2. Flujo no Uniforme o Gradualmente Variado.

La distribución previa de flujo uniforme indica que un canal de forma y pendiente constante es un requerimiento para La condición de flujo uniforme. Sin embargo, con una corriente natural, la forma, tamaño y pendiente de la sección transversal varían típicamente a lo largo de la corriente. Tales variaciones producen la condición de flujo no uniforme en la mayoría de los problemas de planos de inundación de interés al ingeniero hidráulico.

Las ecuaciones de flujo uniforme pueden ser aplicadas al caso del no uniforme dividiendo la corriente en trayectos o secciones dentro de las cuales apliquen condiciones uniformes.

En un canal abierto o corriente natural, el efecto de una grada o pendiente tiende a producir un flujo con un incremento continuo de la velocidad a lo largo del trayecto del flujo. La gravedad está opuesta por la resistencia friccionante, la cual incrementa con la velocidad y eventualmente las dos estarán en balance, para el caso del flujo uniforme. Cuando las dos fuerzas no están balanceadas, el flujo es no uniforme, y es llamado flujo gradualmente variado si las condiciones cambiantes ocurren sobre una distancia larga, flujo rápidamente variado ocurre cuando hay un cambio abrupto o transición confinada en una distancia corta. El flujo rápido es cubierto en textos más avanzados que manejan mecánica de fluidos y flujo en canales abiertos. (Wylie and Streeter 1978).

El flujo gradualmente variado puede ocurrir a lo largo del perfil de un canal o corriente natural, en cambios en la sección transversal, la forma o el tamaño, a desviaciones en la corriente y en estructuras tales como presas, puentes o diques.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

De particular interés en el análisis de cuencas y la hidráulica de planos de inundación es el caso de la corriente natural y el impacto asociado con el paso de puentes, especialmente en áreas urbanas.

8. PARAMETROS DE DISEÑO.

En el caso de los canales que forman parte del sistema de drenaje de aguas lluvias de un municipio, se deben seguir las siguientes recomendaciones y parámetros de diseño:

- Para canales revestidos en hormigón, la velocidad máxima de flujo debe ser menor o igual que 8 m/s, y si la pendiente es elevada, el canal debe conformar una rápida escalonada, de tal forma que la energía disminuya a un valor razonable y, en caso necesario, se deberá complementar con un tanque amortiguador a la llegada, diseñado con el criterio de disipar la energía hasta un nivel apropiado para ser recibido por el canal de aguas abajo.
- Los canales revestidos deben diseñarse en forma tal que los colectores marginales descarguen por encima de las aguas máximas del canal.
- Siempre deben hacerse las previsiones apropiadas de borde libre. Si eventualmente el canal de drenaje llegara a funcionar como un conducto cerrado, la profundidad máxima de este no puede superar el 90% de la altura del conducto.
- Las curvas horizontales deben diseñarse teniendo en cuenta las consideraciones apropiadas de peralte, con las justificaciones para cada caso.
- La concepción, el trazado y el dimensionamiento del canal deben estar justificadas plenamente desde la etapa del diseño.
- Siempre deben tenerse en cuenta las consideraciones correspondientes al efecto o impacto ambiental del canal.
- En el diseño de los canales debe tenerse en cuenta la existencia de caudales vertidos por otros canales y tuberías de aguas lluvias existentes o proyectadas dentro del sistema básico de drenaje.
- Cuando los caudales entreguen el agua a cuerpos naturales de agua, debe tenerse en cuenta la cota con la que debe llegar el canal para hacer un empalme hidráulico apropiado.

8.1. Velocidades en los canales de drenaje de aguas lluvias.

En general, la velocidad mínima permisible está determinada por aquel valor que dicte la sedimentación de aquellos materiales producidos por el arrastre de la escorrentía superficial. Teniendo en cuenta la naturaleza típica de dichos materiales, en medios ambientes urbanos, se recomienda un valor para la velocidad mínima de 0,6 m/s.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Por otro lado, la velocidad máxima en el canal de drenaje depende del caudal de diseño, del radio hidráulico y del material que conforman las paredes y el fondo del canal. Adicionalmente deben tenerse en cuenta los siguientes dos requisitos:

- La velocidad máxima en los canales de drenaje depende del riesgo de erosión que estos puedan sufrir, el cual es función del canal en que están construidos.
- En general, los canales de entrega de caudales de aguas lluvias deben estar revestidos de algún tipo de material no erosionable.
- En las siguientes tablas se dan algunos valores de referencia para velocidades máximas en canales revestidos:

Tabla 2.Velocidades máximas en canales revestidos (m/s).

Tipo de revestimiento	Características del material	Velocidad máxima
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras)		12,5
Mampostería convencional o en piedra		3,7
Gaviones (0.5 m y mayor)		4,7
Piedras grandes		3,0
Capas de piedra o arcilla (100 mm a 150 mm)		2,4
Suelo apisonado con piedra	Piedra de 150 - 200 mm	2,6
Capa doble de piedra	Piedra de 200 - 300 mm	3,0
Capa doble de piedra	Piedra de 150 - 200 mm	3,0
Capa doble de piedra	Piedra de 200 - 300 mm	3,1

Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.12.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 3.Velocidades máximas en canales no revestidos según el material en suspensión (m/s).

Material excavado en la construcción del canal	Agua limpia sin detritos	Agua con sedimentos coloidales	Agua con sedimentos no coloidales, arenas, gravas o fragmentos de rocas
Arena fina (no coloidal)	0,4	0,8	0,4
Barro arenoso (no coloidal)	0,5	0,8	0,6
Barro de sedimentación (no coloidal)	0,6	0,9	0,6
Materiales de aluvión no coloidales	0,6	1,1	0,6
Barro compacto ordinario	0,8	1,1	0,7
Cenizas volcánicas	0,8	1,1	0,6
Grava fina	0,8	1,5	1,1
Arcilla dura (muy coloidal)	1,1	1,5	0,9
Barro que forma gradualmente cantos terrosos, no coloidales	1,1	1,5	1,5
Materiales de aluvión coloidales	1,1	1,5	0,9
Sedimentos que forman gradualmente cantos coloidales.	1,2	1,7	1,5
Grava gruesa no coloidal	1,2	1,8	2,0
Guijarros y piedras	1,5	1,7	2,0
Pizarras y esquitos	1,8	1,8	1,5

Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.12.

8.2. Coeficiente de rugosidad.

Se debe utilizar la ecuación de Manning. El valor del coeficiente de rugosidad de Manning debe ser escogido apropiadamente, teniendo en cuenta los materiales que componen el perímetro mojado y el tipo de sedimentos que pueden ser transportados por el canal. En los casos en que sea apropiado, debe estimarse el coeficiente de rugosidad medio de la sección mediante la ponderación con perímetros y/o radios hidráulicos. En el diseño de canales para el drenaje de aguas lluvias se debe justificar el método de cálculo para la sección transversal del canal de entrega.

En todos los casos debe justificarse el factor de fricción o coeficiente de pérdidas por fricción utilizados. En caso que se quiera hacer uso de canales naturales o de canales naturales que hayan tenido una fuerte intervención humana, localizados al interior del municipio, se deben utilizar los coeficientes de rugosidad de Manning mostrados en la Tabla D.4.14 del RAS 2000 en su resolución 0799.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 4.Coeficientes de rugosidad de Manning.

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

Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.14.

En todos los casos, el perfil longitudinal del flujo correspondiente al caudal máximo para el evento de lluvia de diseño, definido por un período de retorno de mínimo 10 años y máximo de 20 años, debe calcularse para una condición de flujo gradualmente variado, considerando el control en el canal natural de entrega, siguiendo todas las consideraciones establecidas en los literales D.6.3.6.1 y D.6.3.6.2 del RAS 2000, en su resolución 0799.

8.3. Periodo de retorno de la lluvia de diseño.

El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico vehicular, el comercio, la industria, etc. La selección del período de retorno está asociada con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado de acuerdo con dicho criterio. En la Tabla D.4.1 se establecen los valores de períodos de retorno de acuerdo con el grado de protección, con las características del área de drenaje y el tamaño total de dicha área para el sistema o sector diseñado.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 5. Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema.

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 ha	10	25	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	50	100

Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.1.

Dependiendo del nivel de complejidad del sistema, las autoridades locales deben definir el grado de protección, según lo señalado en la tabla anterior dentro de las categorías de mínimo, aceptable o recomendado. En cualquier caso, este grado de protección, o período de retorno debe ser igual o mayor al presentado en la Tabla D.4.2, del RAS 2000. Sin embargo, en casos especiales en los cuales exista el peligro de pérdida de vidas humanas, las autoridades locales pueden incrementar el grado de protección.

En determinación al manual de drenaje de Carreteras del INVIAS, los periodos de retorno para proyectos viales también deben cumplir lo especificado en la siguiente tabla.

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

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)[1]
Cunetas	5
Zanjas de Coronación[2]	10
Estructuras de Caída[2]	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o Igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: Manual de drenaje de Carreteras Tabla 2.8.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 7.Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de Complejidad del Sistema	Grado de protección igual o mayor al:
Bajo y Medio	Mínimo
Medio Alto	Aceptable
Alto	Recomendado

Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.2.

8.4. Caudal de diseño utilizando el método racional.

El método racional es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias que tengan áreas relativamente pequeñas. El diseñador podrá utilizar este método racional siempre y cuando el área de la cuenca de drenaje sea menor que 80 ha. El método racional calcula el caudal pico de aguas lluvias utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad. El caudal medido a la salida de esta cuenca pequeña durante un período de lluvia uniforme debe incrementarse hasta un valor máximo que se mantiene constante hasta que se detenga la lluvia.
De acuerdo con lo anterior, en el método racional el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, para lo cual dicho caudal es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- El caudal pico de escorrentía en cualquier punto de la cuenca es función directa del área tributaria de drenaje y de la intensidad de precipitación promedio durante el tiempo de concentración en dicho punto.
- El período de retorno del caudal pico es igual al período de retorno de la intensidad promedio de precipitación o evento de precipitación.
- La lluvia se distribuye uniformemente sobre toda el área de drenaje.
- La intensidad de la lluvia permanece constante durante un período de tiempo por lo menos igual al tiempo de concentración. Esta suposición es particularmente correcta para períodos de tiempo relativamente cortos.
- El tiempo de concentración puede ocurrir en cualquier momento a lo largo del período de lluvia, ya sea cerca al comienzo, en la mitad o al final de ésta.
- La relación entre la lluvia y la escorrentía es lineal.
- El coeficiente de impermeabilidad, es constante para lluvias de cualquier duración o frecuencia sobre el área de drenaje.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Teniendo en cuenta las anteriores suposiciones, el método racional tiene las siguientes limitaciones:

- El método solo permite obtener un punto en el hidrograma de escorrentía, el cual corresponde al caudal pico. Cuando el terreno se vuelve quebrado y complejo, la ecuación tiende a sobrestimar el caudal.
- El método no permite calcular el almacenamiento de agua en las tuberías, el cual puede atenuar el pico de caudal cuando estas son largas.
- El método no es confiable cuando las cuencas tienen formas irregulares, donde no hay un incremento uniforme del área con la distancia al punto de salida.
- El método supone que la intensidad de lluvias es uniforme sobre toda la cuenca. Esto es cierto solo para áreas y períodos de tiempo pequeños. Por consiguiente, el método se debe limitar para áreas de máximo 80 ha.
- El método puede subestimar el caudal cuando el patrón de lluvia tiende a tener un pico muy alto, por ejemplo, cuando la intensidad máxima es bastante mayor que el valor medio de la intensidad de lluvia.
- Existen variaciones considerables en la interpretación y metodología de uso de la ecuación. Existen aspectos subjetivos importantes en la escogencia del coeficiente de impermeabilidad y de los valores de tiempo de entrada.

La expresión que debe utilizarse para el método racional varía de acuerdo con el sistema de unidades utilizado. En la práctica normal de la ingeniería se utilizan dos sistemas de unidades, ambos basados en el sistema internacional de unidades, los cuales corresponden a las ecuaciones presentes en el Titulo D del RAS en su resolución 0799 ((D.4.20)) y ((D.4.21)) mostradas a continuación:

Ecuación: (D.4.20)

$$Q = C * I * A$$

donde:

Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C= Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria(Adimensional)

I=Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (L/s.ha).

A= Área tributaria de drenaje (ha).

Ecuación: (D.4.21)

$$Q = 2.78 * C * I * A$$

Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C= Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria(Adimensional)

I= Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h).

A= Área tributaria de drenaje (ha).

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Para los sistemas de todos los niveles de complejidad, el método racional descrito en este literal, puede utilizarse únicamente cuando el área de la cuenca urbana sea inferior a 80 ha y sus coeficientes de impermeabilidad estén completamente establecidos. Para el caso de sistemas con nivel de complejidad alto, el diseñador debe contar con la aprobación de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio antes de hacer uso del método racional.

8.4.1. Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía.

El coeficiente de impermeabilidad, es función del tipo del suelo del área tributaria, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de todos aquellos otros factores que determinen qué parte de la precipitación se convierte en escorrentía. Por consiguiente, el diseñador debe considerar las pérdidas por infiltración en el subsuelo y cualquier otro efecto que tenga como consecuencia el retraso del flujo de escorrentía. También se deben considerar los planes de ordenamiento territorial – POT, EOT – PBOT adoptados por el Concejo municipal sobre los usos del suelo, los planes de desarrollo urbano aprobados por el municipio y cualquier otro tipo de consideración legal sobre el uso futuro del suelo. Estos se requieren para estimar el coeficiente de impermeabilidad para el momento final del período de diseño, el cual puede ser sustancialmente diferente al coeficiente de impermeabilidad en el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas lluvias. El tránsito hidráulico de la creciente producida por el evento de lluvia de diseño debe ser desarrollado tanto para las condiciones de coeficiente de impermeabilidad correspondientes al momento de puesta en marcha del proyecto, como para las condiciones de coeficientes de impermeabilidad correspondientes al final del período de diseño.

Para aquellas áreas de drenaje que incluyan zonas con diferentes coeficientes de impermeabilidad, el valor del coeficiente de impermeabilidad representativo para toda el área debe calcularse como el promedio ponderado de los coeficientes de impermeabilidad individuales para cada sub-área, de acuerdo con la ecuación presente en el Titulo D del RAS en su resolución 0799 ((D.4.22) mostrada a continuación.

Ecuación: (D.4.21)

$$C = \frac{(\sum C * A)}{\sum A}$$

donde:

C = Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía (-).

A = Área tributaria de drenaje (ha).

Alternativamente, el diseñador puede utilizar los coeficientes de impermeabilidad mostrados en la Tabla D.4.7 del RAS 2000 en su resolución 0799.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 8. Coeficientes de impermeabilidad.

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.7.

Tabla 9.Valores del Coeficiente de escorrentía en áreas urbanas.

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

Fuente: Manual de Drenaje de Carreteras Tabla 2.9.

Un enfoque más completo en cuanto a los tiempos de retorno para las estructuras a proyectar según su complejidad es el de Chow V.Ty Msidment, como se observa en la siguiente tabla.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 10. Valores del Coeficiente de escorrentía en áreas desarrolladas y no desarrolladas.

Características de la superficie	Período de retorno (años)				
	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00
Área desarrollada					
Asfáltico	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95
Concreto	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
Techo	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
Zonas verdes (jardines. parques, etc.)					
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)					
Plano, 0-2%	0.34	0.37	0.40	0.44	47.00
Promedio, 2-7%	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53
Pendiente superior a 7%	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55
Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)					
Plano, 0-2%	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2-7%	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente superior a 7%	0.40	0.42	0.48	0.49	0.53
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)					
Plano, 0-2%	0.23	**0.25**	0.29	0.32	0.36
Promedio, 2-7%	0.32	0.32	0.39	0.42	0.46
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51
Áreas no desarrolladas					
Área de cultivos					
Plano, 0-2%	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
Promedio, 2-7%	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51
Pendiente superior a 7%	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
Pastizales					
Plano, 0-2%	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2-7%	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente superior a 7%	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53
Bosques					
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
Promedio, 2-7%	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
Pendiente superior a 7%	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52

Fuente: Applied Hydrology, Chow V.Ty Msidment A 1988.

8.4.2. Curvas de Intensidad-Duración -Frecuencia.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

períodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, estas deben ser analizadas para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias. La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. La distribución de probabilidad de Gumbel se recomienda para estos análisis, aunque otras también pueden ser ajustadas.

Eventualmente, es posible hacer análisis regionales de frecuencia en caso de disponer de más de una estación pluviográfica. Si no existe información en la población, debe recurrirse a estaciones localizadas en la zona lo más cercanas a la población. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, preferencialmente derivados con información pluviográfica colombiana. De acuerdo con el nivel de complejidad del sistema, la manera mínima permitida de obtención de las curvas IDF se define en la Tabla D.4.9. (RAS 2000, Resolución 0799).

Tabla 11.Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF).

Nivel de Complejidad del Sistema	Mínimo requerimiento
Bajo y Medio	Curvas sintéticas
Medio Alto	Información pluviográfica regional
Alto	Información pluviográfica local

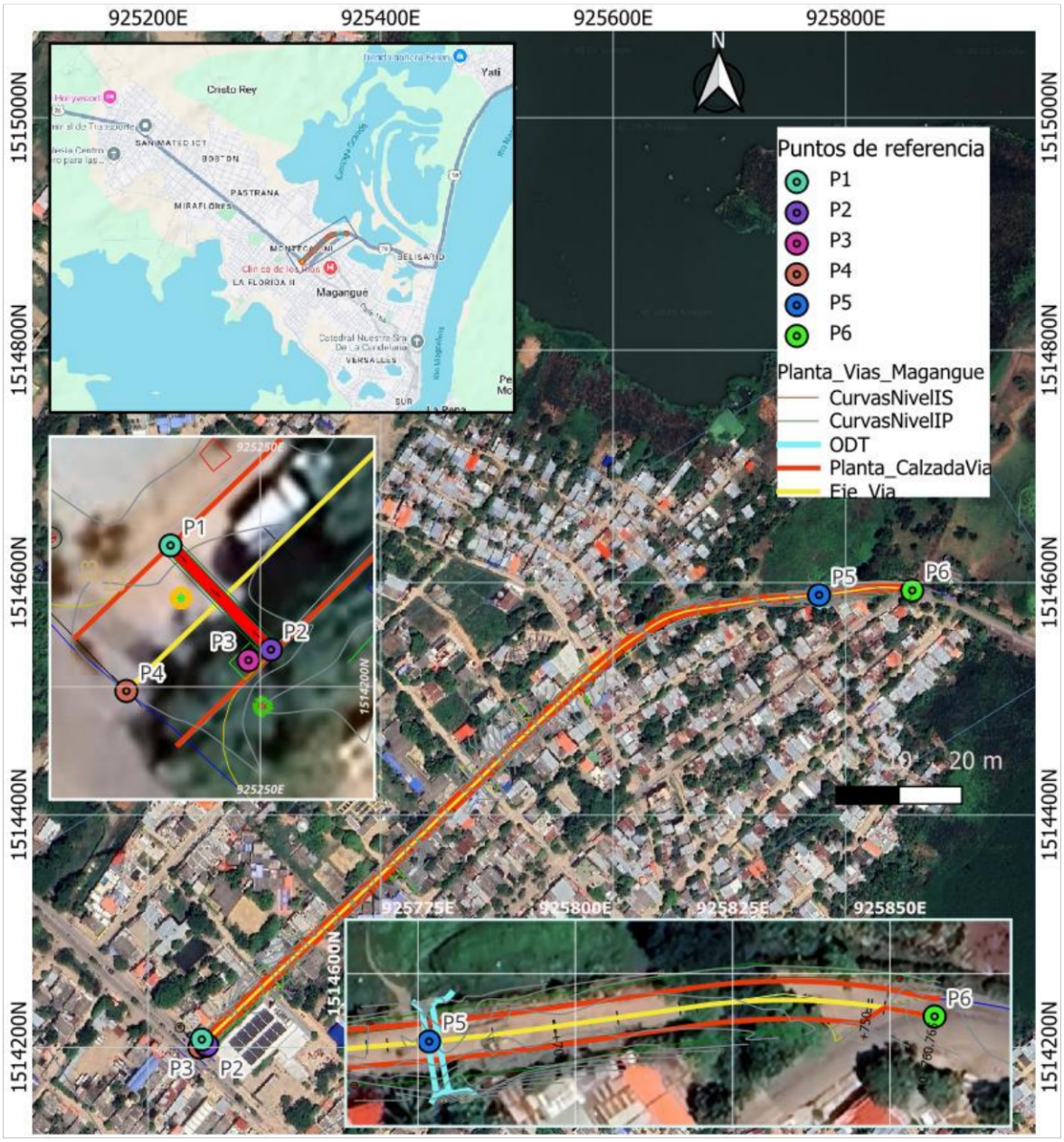
Fuente: RAS 2000- Tabla D.4.9.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

9. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El proyecto se localiza en la Carrera 16 entre Calle 16 y Calle 31, zona urbana del municipio de Magangué, departamento de Bolívar. En la siguiente ilustración se observa su ubicación y la Tabla 12 las coordenadas de puntos de referencia.

Ilustración 1.Localización zona de estudio.



Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

En la siguiente tabla se observan las coordenadas de los puntos de referencias indicados en la anterior ilustración.

Tabla 12. Coordenadas punto de referencia del proyecto.

ID	Punto de referencia	COORDENADAS MAGNA SIRGAS - ORIGEN BOGOTA	
		ESTE	NORTE
P1	Alcantarilla Proyectada	925245.773	1514206.675
P2	Alcantarilla Proyectada	925250.506	1514201.759
P3	Sumidero Existente	925249.448	1514201.26
P4	Inicio Tramo vial (K0+000)	925243.691	1514199.81
P5	ODT Existente (K0+680)	925776.864	1514589.252
P6	Fin Tramo Vial (K0+760.765)	925857.027	1514593.239

Fuente: Autor.

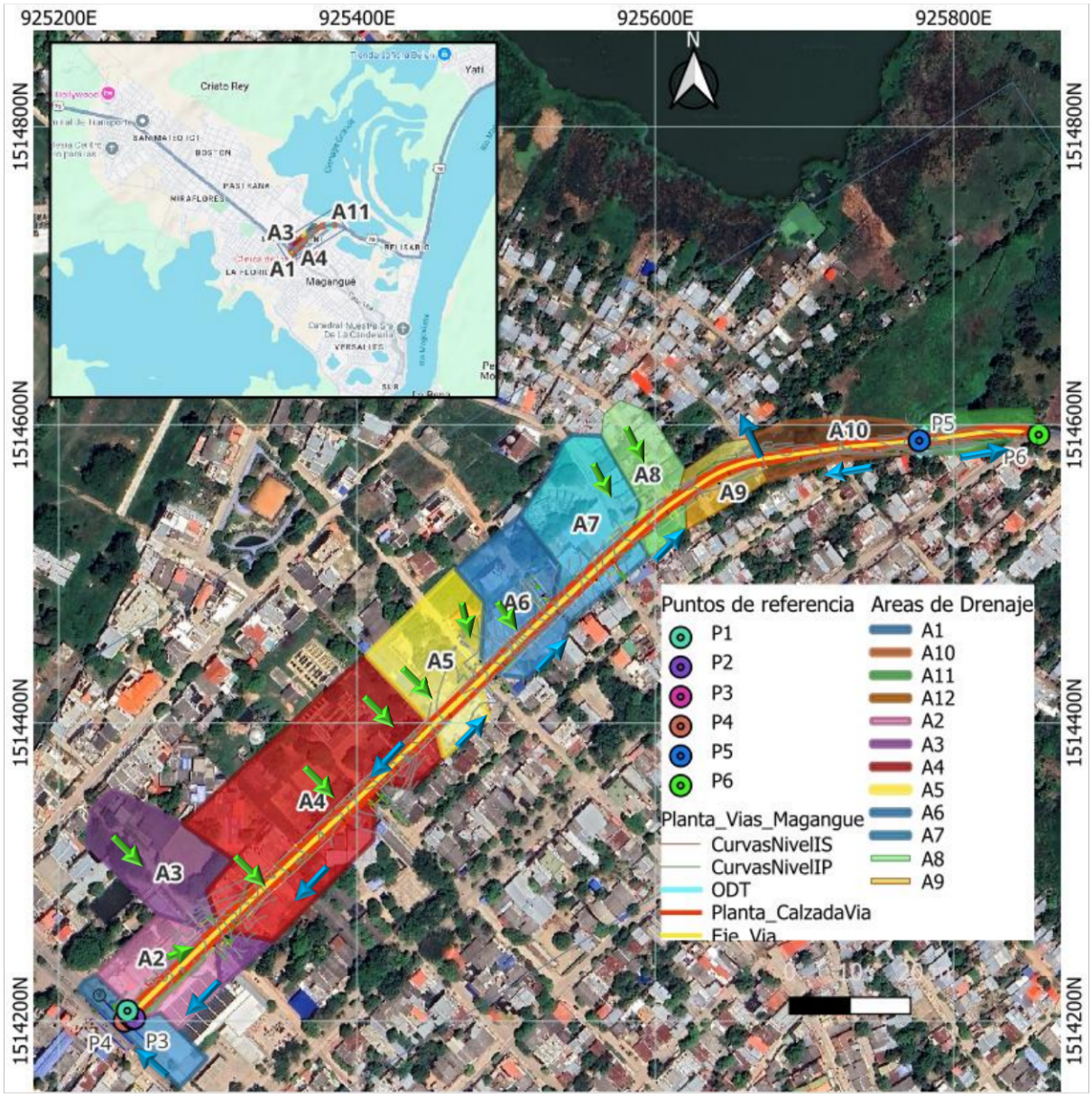
Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

10. COMPONENTE MORFOMETRICO.

10.1. Áreas de cuenca y puntos de descarga.

Las áreas de drenaje, la dirección del flujo y los punto de descarga final de las aguas se pueden observar en la siguiente ilustración. Para mayor detalle: **Anexo1. MapaAreasDrenaje**

Ilustración 2. Áreas de drenaje.



Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Hay dos principales sentidos de drenaje; Nor Oeste y Sur Este, con pendientes en terreno del orden del 0% al 3%, considerando el relieve plano, como se muestra en la Tabla 13 .

Tabla 13. Rangos de pendientes de acuerdo a IGAC.

SÍMBOLO	GRADIENTE (%)	DESCRIPCIÓN
a	0 - 3	Plano
b	**3 - 7**	Ligeramente inclinado
c	7 - 12	Moderadamente inclinado
d	12 - 25	Fuertemente inclinado
e	25 - 50	Ligeramente escarpado
f	50 - 75	Moderadamente escarpado
g	> 75	Fuertemente escarpado

Fuente:(IGAC, 2002)

Las áreas de drenaje con sus tributarios y los puntos de descarga final, se resumen la siguiente tabla.

Tabla 14. Áreas de drenaje, tributarios y puntos de descarga.

Tramo vial	Áreas aferentes	Tributarios	Descarga	Área(m2)
K0+000 - K0+250	A1/A2/A3/A4	Calle 16/Carrera 16/ Carrera 16a (vías y zonas residenciales)	Rejilla sumidero Carrera 16 (K0+000)	27831.73
K0+250 - K0+340	A5	Carrera 16/Calle 17a (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 17a	5558.52
K0+340- K0+475	A6/A7	Carrera 16/Calle 17b/Calle 20 (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 17b	11254.02
K0+475- K0+590	A8/A9	Carrera 16/Calle 20 (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 21	5360.93
K0+590 - K0+680	A10	Carrera 16 (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 21	3032.88
K0+680 - K0+760.76	A11	Tramo Carrera 10 (vías y zonas residenciales)	Carrera 15	1648.61

Fuente: Autor.

10.2. Cauce Principal.

Los cauces principales están definidos por la longitud de los tramos viales.
Las longitudes de los cauces principales, las cotas de los puntos extremos, así como las pendientes se resumen en la siguiente tabla.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 15. Pendiente media de los cauces principales.

Tramo vial	AREAS AFERENTES	Longitud (m)	Hmáx (msnm)	Hmin (msnm)	Diferencia (m)	Pendiente media del cauce(m/m)	Pendiente media del cauce(%)
K0+000 - K0+250	A1/A2/A3/A4	250.00	26.46	23	3.46	0.01384	1.38%
K0+250 - K0+340	A5	90.00	26.46	25.19	1.27	0.01411	1.41%
K0+340- K0+475	A6/A7	135.00	25.19	21.24	3.95	0.02926	2.93%
K0+475- K0+590	A8/A9	115.00	21.24	20.45	0.79	0.00687	0.69%
K0+590 - K0+680	A10	90.00	20.9	20.45	0.45	0.00500	0.50%
K0+680 - K0+760.76	A11	80.76	20.9	20.46	0.44	0.00545	0.54%

Fuente: Autor.

10.3. Tiempo de concentración (tc)

Se analiza el tiempo de concentración hasta los puntos de interés aplicando entre los métodos de cálculo el de Kirpich (1940), Témez (1978), Bransby – Williams (1922), Giandotti (1934), Johnstone y Cross (1949), Scs-Ranser (1978), Ventura – Heras (1972), Ven Te Chow (1981) y el del Cuerpo de ingenieros del ejército de los ESTADOS UNIDOS, a partir de estos valores se analizan cual están de un mismo rango, se promedian y se saca la media hasta obtener un valor consistente. Las fórmulas adoptadas se observan en las siguientes tablas.

Como criterio inicial, si el valor es inferior a 15 minutos, se toma como valor los 15 minutos según recomendación del Manual de Drenaje de Carreteras del INVIAS.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 16. Ecuaciones Tiempo de concentración.

Fórmula	Ecuación	Parámetros
		A = Área de la cuenca (km²)
Giandotti	$T_c = \left(\frac{4\sqrt{A}+1.5L}{25{,}3\sqrt{L\,S}}\right)$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km²)
Johnstone y Cross	$T_c = 2{,}6\left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,5}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/km)
SCS – Ranser	$T_c = 0{,}947\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) H = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)
Ventura – Heras	$T_c = 0{,}3\left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,75}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Ven Te Chow	$T_c = 0{,}273\left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,64}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	$T_c = 0{,}28\left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Fórmula	**Ecuación**	**Parámetros**
Kirpich	$T_c = 0{,}06628\left(\frac{L_D}{S^{0,5}}\right)^{0,77}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Témez	$T_c = 0{,}3\left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Williams	$T_c = 0{,}683\left(\frac{L\,A^{0,40}}{D\,S^{0,25}}\right)$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) D = Diámetro de una cuenca circular con área A (km) A = Área de la cuenca (km²)
Bransby – Williams	$T_c = \frac{14{,}6L}{A^{0,1}S^{0,2}}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (min) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Los resultados de los cálculos para los tiempos de concentración de los tramos viales proyectados se resumen en la siguiente tabla.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 17. Cálculo de tiempos de concentración para tramos viales proyectados.

Tramo vial	Kirpich (h)	Témez (h)	Bransby - Williams (h)	Giandotti (h)	Johnstone y Cross(h)	Scs-Ranser(h)	Ventura - Heras(h)	Ven Te Chow(h)	Cuerpo de ingenieros del ejército de los ESTADOS UNIDOS	Media (h)	TC (min)	TC seleccionado (mínimo)
K0+000 - K0+250	0.118	0.10	0.20	0.70	0.67	0.11	0.10	0.44	0.22	0.205	12.29	**15.00**
K0+250 - K0+340	0.054	0.05	0.09	0.48	0.40	0.05	0.05	0.23	0.10	0.086	5.18	**15.00**
K0+340- K0+475	0.055	0.05	0.10	0.39	0.41	0.05	0.05	0.23	0.12	0.104	6.26	**15.00**
K0+475- K0+590	0.085	0.06	0.13	0.65	0.54	0.08	0.06	0.34	0.14	0.128	7.67	**15.00**
K0+590 - K0+680	0.080	0.05	0.11	0.66	0.52	0.08	0.06	0.32	0.12	0.113	6.77	**15.00**
K0+680 - K0+760.76	0.071	0.05	0.11	0.53	0.48	0.07	0.05	0.29	0.11	0.106	6.35	**15.00**

Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

11. COMPONENTE HIDROLOGICO

11.1. CALCULO DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.

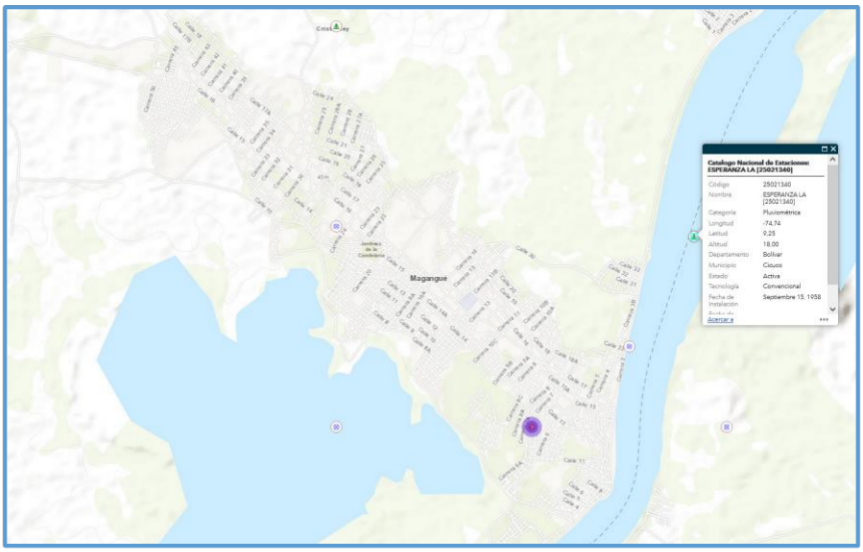
11.1.1. Recopilación de información de estaciones meteorológicas.

Para el desarrollo de esta actividad se implementa el Geo-portal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en su plataforma DHIME.

Con la localización del proyecto en el municipio de Magangué, departamento de Bolívar, se busca las estaciones meteorológicas activas con información pluviométrica.
Estas estaciones deben ser las más cercanas al punto de interés y que garanticen información lo más completa posible dentro de un registro mínimo de 30 años hasta la fecha actual, además que la faja de elevaciones de las estaciones esté dentro del rango de altitudes presentes en las unidades hidrológicas en estudio. Otro criterio importante es que la estación esté dentro de un mismo sistema bioclimático, donde las condiciones de humedad relativa, evaporación, precipitaciones y diversos factores asociados a las variables climáticas las afecten de igual manera que la cuenca en estudio.

Dentro de la información obtenida, se observa que la estación ESPERANZA LA [25021340], reúne los criterios anteriormente mencionados.

Ilustración 3. Ubicación y características de la estación seleccionada.

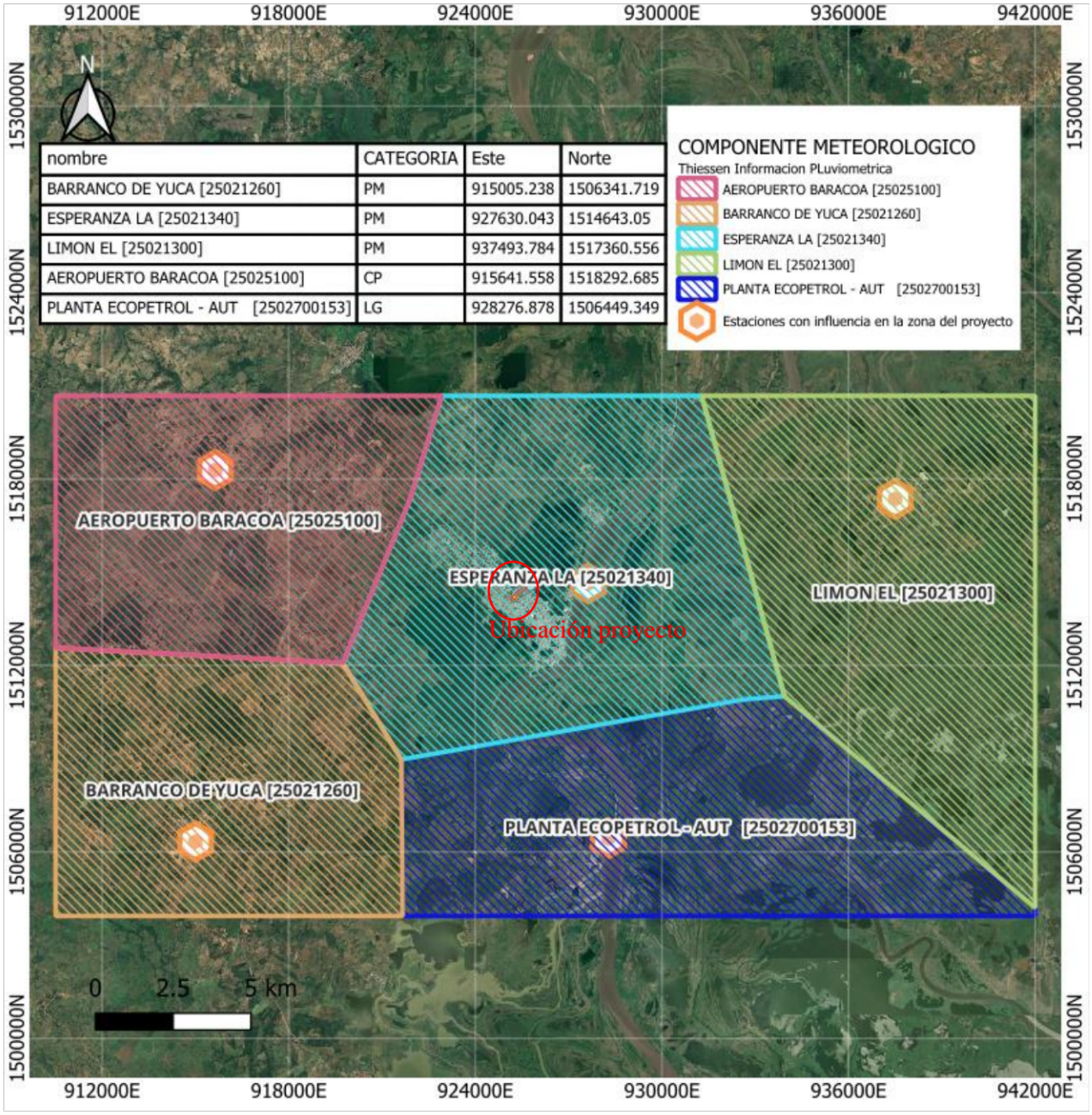


Fuente: DHIME , modificado por el Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

En la Ilustración 4 , se puede observar el polígono de Thiessen de las estaciones más cercanas a la zona del proyecto.

Ilustración 4. Polígono de Thiessen de estaciones con registro pluviométrico.



Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

11.1.2. Evaluación de datos homólogos.

Es importante evaluar que tan consistentes es la información y como se mantienen algunos patrones de comportamientos de las lluvias a nivel mensual multianual, por lo que se hace necesario analizar la homogeneidad de los datos de las estaciones más cercanas identificar los datos dudosos mediante métodos estadísticos como el sistema Box Plot y /o la metodología Water Resources Council.

Para estas metodologías se implementará la información de la estación de categoría pluviométrica de nombre ESPERANZA LA [25021340]. La información de base de esta estación es la precipitación máxima multianual en 24 horas, desde el año 1980 al 2024, con una serie de 45 valores.

Se tiene como resultado para el caso del método Box Plot los cuantiles que son puntos tomados a intervalos regulares de la función de distribución de una variable aleatoria, estos puntos permiten definir limites inferiores y superiores, para así descartar valores que salgan de la tendencia y por ende generen una mayor desviación estándar.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- ✓ Cálculo de los cuantiles. $Q1, Q2\ (mediana), Q3, Q4$
- ✓ Cálculo del rango intercuantílico. $RIC = Q3 - Q1$
- ✓ Cálculo del límite superior e inferior.
- ✓ Determinación del límite inferior: $Q1 - 1{,}5\ RIC$
- ✓ Determinación del límite superior: $Q3 + 1{,}5\ RIC$
- ✓ Analizar que valores dentro de la serie están fuera de estos limite.

Los resultados se resumen en la Tabla 18.

Tabla 18.Cálculos método de identificación de datos dudosos -Box Plot.

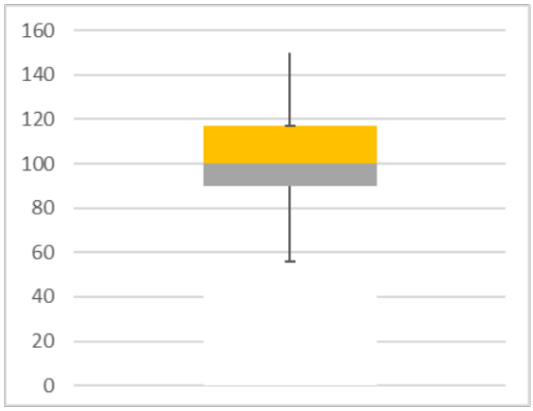
Numeración	Año	Precipitación máx multianual en 24 horas
1	1980	95.0
2	1981	130.0
3	1982	119.0
4	1983	99.0
5	1984	124.0
6	1985	87.0
7	1986	105.0
8	1987	94.0
9	1988	117.0
10	1989	77.0
11	1990	115.0
12	1991	56.0

Cuantiles y valores extremos	Valores	Anchos
Min	56.0	56
Q1	90	34
Q2(mediana)	100	10
Q3	117	17
Máx.	150.0	33

RIC	27
Límite inferior	49.5
Límite superior	157.5

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

13	1992	126.0
14	1993	69.0
15	1994	91.0
16	1995	114.0
17	1996	100.0
18	1997	68.0
19	1998	92.0
20	1999	92.0
21	2000	103.0
22	2001	69.0
23	2002	92.0
24	2003	112.0
25	2004	70.0
26	2005	140.0
27	2006	117.0
28	2007	135.0
29	2008	90.0
30	2009	78.0
31	2010	120.0
32	2011	140.0
33	2012	80.0
34	2013	75.0
35	2014	150.0
36	2015	70.0
37	2016	110.0
38	2017	90.0
39	2018	120.0
40	2019	90.0
41	2020	110.0
42	2021	105.0
43	2022	120
44	2023	100
45	2024	90



Fuente: Autor.

Para la implementación de la metodología de Water Resources Council se detectan los puntos que se alejan de los valores extremos por encima o por debajo para finalmente tomar una decisión en la retención o supresión de valores que pueden afectar la magnitud de las medidas estadísticas.

Las ecuaciones implementadas son las siguientes:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

Ecuación 1. Desviación estándar

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y \qquad Q_H = 10^{y_H}$$

Ecuación 2. Límite superior en unidades logarítmicas y reales.

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y \qquad Q_L = 10^{y_L}$$

Ecuación 3.Límite inferior en unidades logarítmicas y reales. (WRC)

Donde:

$n =$ *número de datos* (und)
$y_i =$ *Precipitación multianual* (mm)
$\bar{y} =$ *Precipitación media multianual* (mm)
$K_n =$ *factor que depende del tamaño de la muestra* (adm)
$S_y =$ *desviación estandar* (mm)
$y_H =$ *limite superior* $(unidades\ logaritmicas)$
$y_L =$ *limite inferior* $(unidades\ logaritmicas)$
$Q_H =$ *limite superior* (mm)
$Q_L =$ *limite inferior* (mm)

Los resultados de los cálculos se resumen en la Tabla 19.

Tabla 19.Cálculos método de identificación de datos dudosos -Water Resources Council

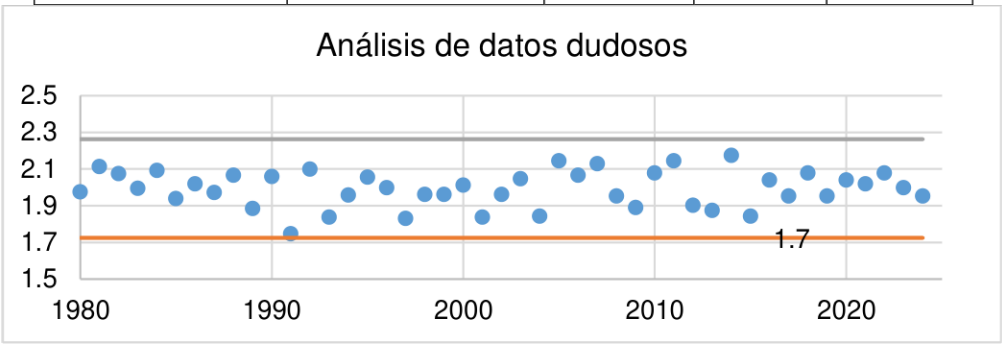
Número Datos	45	Desviación Estándar S_y	0.0986
Kn	2.7270		
Valor Máximo	150.00		
Valor Mínimo	56.00		

y_H	2.2628	**y_L**	1.7247
Q_H	183	**Q_L**	53

Año	Precipitación máxima multianual mm	y = log x	Límite inferior	Límite Superior
1980	95.0	2.0	1.7	2.3
1981	130.0	2.1	1.7	2.3
1982	119.0	2.1	1.7	2.3
1983	99.0	2.0	1.7	2.3
1984	124.0	2.1	1.7	2.3
1985	87.0	1.9	1.7	2.3
1986	105.0	2.0	1.7	2.3
1987	94.0	2.0	1.7	2.3
1988	117.0	2.1	1.7	2.3
1989	77.0	1.9	1.7	2.3
1990	115.0	2.1	1.7	2.3
1991	56.0	1.7	1.7	2.3
1992	126.0	2.1	1.7	2.3

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

1993	69.0	1.8	1.7	2.3
1994	91.0	2.0	1.7	2.3
1995	114.0	2.1	1.7	2.3
1996	100.0	2.0	1.7	2.3
1997	68.0	1.8	1.7	2.3
1998	92.0	2.0	1.7	2.3
1999	92.0	2.0	1.7	2.3
2000	103.0	2.0	1.7	2.3
2001	69.0	1.8	1.7	2.3
2002	92.0	2.0	1.7	2.3
2003	112.0	2.0	1.7	2.3
2004	70.0	1.8	1.7	2.3
2005	140.0	2.1	1.7	2.3
2006	117.0	2.1	1.7	2.3
2007	135.0	2.1	1.7	2.3
2008	90.0	2.0	1.7	2.3
2009	78.0	1.9	1.7	2.3
2010	120.0	2.1	1.7	2.3
2011	140.0	2.1	1.7	2.3
2012	80.0	1.9	1.7	2.3
2013	75.0	1.9	1.7	2.3
2014	150.0	2.2	1.7	2.3
2015	70.0	1.8	1.7	2.3
2016	110.0	2.0	1.7	2.3
2017	90.0	2.0	1.7	2.3
2018	120.0	2.1	1.7	2.3
2019	90.0	2.0	1.7	2.3
2020	110.0	2.0	1.7	2.3
2021	105.0	2.0	1.7	2.3
2022	120.0	2.1	1.7	2.3
2023	100.0	2.0	1.7	2.3



Fuente: Autor

El valor más extremo corresponde al año 1991, con una precipitación de tan solo 56 mm.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

11.1.3. Obtención curva IDF(Intensidad-Duración-Frecuencia) y cálculo de la precipitación.

Se obtendrán las curvas IDF(Intensidad-Duración-Frecuencia) sintéticas regionalizadas como alternativa de análisis más cercano al comportamiento de la cuenca, mediante la metodología expuesta por el IDEAM y el Manual de Drenaje de Carreteras. Se hace uso de la siguiente ecuación:

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f$$

Ecuación 4. IDF Sintéticas Regionalizadas.

Donde:
$I = intensidad\ de\ precipitación\ (mm/hr)$
$T = Periodo\ de\ Retorno\ (años)$
$t = Tiempo\ de\ duración\ de\ precipitación\ (horas)$
$M = Promedio\ del\ Valor\ máximo\ anual\ de\ precipitación\ diaria (mm)$
$N = numero\ promedio\ de\ días\ con\ lluvia\ al\ año (DIAS)$
$PT = Precipitación\ media\ anual (mm)$

Las constantes a, b, c, d, e, f dependen de la región, en determinación a la Tabla 20:

Tabla 20. Constantes regionales para obtención de curvas IDF

CONSTANTES REGIONALES						
REGION	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**
Andina	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08
Caribe	8.51	0.21	0.5	-0.01	-0.08	0.28
Pacífico	2.31	0.19	0.58	-0.2	0.12	0.4
Orinoquia	1.3E-26	0.19	0.58	1.19	-1.46	8.28
Amazonia	3.87	0.19	0.62	0.32	-0.23	-0.03

Fuente: Curvas sintéticas regionalizadas de Colombia por Rodrigo Vargas M y Mario Díaz - Granados O.

Para la primera variable climática M , con la información descargada del Geoportal del IDEAM y el registro diario de precipitaciones se organiza la información para obtener una tabla que relacione las precipitaciones máximas multianuales en 24 horas y así poder determinar el promedio de estas como se puede ver en la Tabla 21. Para el caso del variable PT , la información se organiza para tener los totales de las precipitaciones multianuales y así tener su valor promedio, como aparece en la Tabla 22. La información faltante de las precipitaciones mensuales multianuales se rellena con el valor medio de ese mes con el propósito de no tener una amplia desviación.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 21.Precipitaciones máximas multianuales en 24 horas.

Año/mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	MAX
1980	73	0	0	8	27	49	95	70	81	78	26	6	95
1981	0	20	16	82	106	56	78	85	37	125	70	130	130
1982	50	8	0	55	75	45	40	100	94	119	52	4	119
1983	0	40	5	80	99	47	88	80	38	80	10	19	99
1984	2	9	6	30	50	55	124	78	32	86	46	4	124
1985	6	0	0	13	87	36	42	46	34	74	48	61	87
1986	3	5	5	33	32	38	105	48	59	101	32	4	105
1987	18	1	14	45	24	39	42	64	94				94
1988								80	43	117	39	64	117
1989	9	7	2	15	26	41	59	50	72	68	72	77	77
1990	0	24	52	46	68	30	56	87	59	115	11		115
1991			8	55	54	50	12	14	56	45	0	0	56
1992	0	0	0	0	48	50	22	126	43	76	36	5	126
1993	38	0	69	32	12	31	50	20	43	25	29	35	69
1994	12	12	32	91	55	49	61	27	40	36	45	0	91
1995	0	18	20	48	75	39	114	73	70	50	50	32	114
1996	35	25	25	37	66	40	80	67	100	52	70	60	100
1997	0	6	23	0	50	50	8	10	68	33	17	0	68
1998	0	0	24	10	65	80		65	92	80	80	87	92
1999	10	30	26	58	20	74	77	51	92	40			92
2000	21	5	7	88	103	76	59	39		17	31	18	103
2001	0	0	43	31	47	20	19	32	69	52	25	20	69
2002	2	0	46	69	55	49	5	62	92	30	29	0	92
2003	0	0	10	15	95	112	40	50	40	40	30	22	112
2004	0				45	45	70	40	58	45	60	0	70
2005				12	140	40	38	95	70	60	100	40	140
2006	38	0	50	55	39	40	90	56	55	117	55	25	117
2007	0	20	20	62	50	110	40	54	40	135	40	40	135

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Año/mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	MAX
2008	0	5	60	50	30	40	90	80	60	50	46	40	90
2009	0	0	50	17	78	55	20	70	70	40	45	0	78
2010	0	3	0	30	46	65	80	110	120	70	30	40	120
2011	20	50	20	80	80	45	140	75	110	60	50	40	140
2012	0	30	0	43	38	40	40	30	70	80		57	80
2013	0	12	37	40	40	50	70	60	70	75	70	70	75
2014	0	0	30	40	40	35	30	110	150	60	51	22	150
2015	5	19	8	31	41	42	50	55	20	45	70	0	70
2016	0	0	0	17	110	16	25	60	55	95	95	50	110
2017	50	0	50	15	72	90	90	55	40	90	60	30	90
2018	25	0	35	3	65	80	65	95	30	65	120	0	120
2019	0	0	20	90	65	74	30	56	70	80	40	0	90
2020	5	0	0	100	85	85	110	40	95	80	80	45	110
2021	0	14	80	100	80	70	90	80	100	85	105	61	105
2022	0	13	15	80	110	60	66	120	50	60	80	0	120
2023	40	0	20	50	47	50	75	70	55	100	55	22	100
2024	0	19	0	60	46	80	48	90	54	70	58	30	90
Promedio	23.10	16.46	28.12	46.73	61.05	53.82	61.23	65.00	65.68	70.48	52.63	39.38	**102.05**

Fuente: IDEAM y modificado por Autor.

Tabla 22.Precipitaciones multianuales.

Año/mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	TOTAL
1980	73	0	0	30	38	139	345	310.5	186	228	69	10	1428.5
1981	0	27	19	199	554	251	292	310	133	299	201	168	2453.0
1982	97	19	0	131	259	151	104	284	217	480	82	7	1831.0
1983	0	40	6	141	256	201	197	160	235	188	42	33	1499.0
1984	2	9	10	78	109	256	446	232	201	255	129	4	1731.0
1985	6	0	0	19	179	42	97	164	182	237	121	80	1127.0
1986	3	9	5	90	93	97	121	110	198	269	74	4	1073.0

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Año/mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	TOTAL
1987	26	1	15	87	105	164	206	193	388				1185.0
1988								259	223	576	125	195	1378.0
1989	9	7	4	22	70	105	228	174	283	258	171	88	1419.0
1990	0	36	64	156	276	104	170	251	165	236	19		1477.0
1991			8	91	124	108	69	29	90	78	0	0	597.0
1992	0	0	0	0	113	137	91	291	107	202	71	5	1017.0
1993	46	0	113	66	36	116	160	105	171	74	88	42	1017.0
1994	12	18	53	205	242	222	127	130	104	138	57	0	1308.0
1995	0	29	20	103	201	158	380	271	190	158	170	117	1797.0
1996	55	55	57	53	362	297	220	279	281	194	145	154	2152.0
1997	0	6	23	0	162	166	13	20	227	81	47	0	745.0
1998	0	0	42	15	291	172		110	206	240	152	225	1453.0
1999	20	46	51	135	66	330	209	161	276	113			1407.0
2000	23	11	7	211	183	218	192	85		51	76	69	1126.0
2001	0	0	72	34	205	45	86	119	242	93	102	44	1042.0
2002	2	0	60	194	220	159	5	121	198	80	70	0	1109.0
2003	0	0	17	21	156	254	124	116	129	262	53	22	1154.0
2004	0				128	130	191	135	216	94	144	0	1038.0
2005				17	212	172	118	199	165	75	200	130	1288.0
2006	53	0	50	148	145	86	337	101	150	303	125	33	1531.0
2007	0	20	39	127	238	435	213	308	160	419	55	111	2125.0
2008	0	16	118	70	100	163	519	445	275	196	174	40	2116.0
2009	0	0	90	54	126	105	30	174	120	134	98	0	931.0
2010	0	5	0	75	166	206	437	540	479	345	226	200	2679.0
2011	55	50	55	234	575	382	559	240	335	324	261	186	3256.0
2012	0	30	0	135	258	178	206	140	152	165		57	1321.0
2013	0	12	62	94	183.5	150	155	255	168	195	105	114	1493.5
2014	0	0	30	90	71	35	75	420	390	203	112	40	1466.0
2015	5	19	8	62	81	84	139	170	116	120	109	0	913.0
2016	0	0	0	25	295	32	127	156	181	270	332	50	1468.0

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Año/mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	TOTAL
2017	50	0	92	25	322	550	385	255	95	280	164	70	2288.0
2018	65	0	50	3	102	238	165	212	96	238	376	0	1545.0
2019	0	0	20	150	320	184	40	148	270	409	80	0	1621.0
2020	5	0	0	166	177	201	284	265	404	490	165	108	2265.0
2021	0	14	255	310	267	298	244	470	708	536	460	68	3630.0
2022	0	19	40	198	350	444	357	688	387	418	401	0	3302.0
2023	40	0	20	150	226	301	223	243	210	267	161	43	1884.0
2024	0	19	0	131	198	381	221	297	120	185	106	30	1688.0
Promedio	32.35	21.54	47.73	105.98	200.92	196.52	207.14	225.46	223.39	237.64	144.34	79.59	**1722.59**

Fuente: IDEAM y modificado por Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

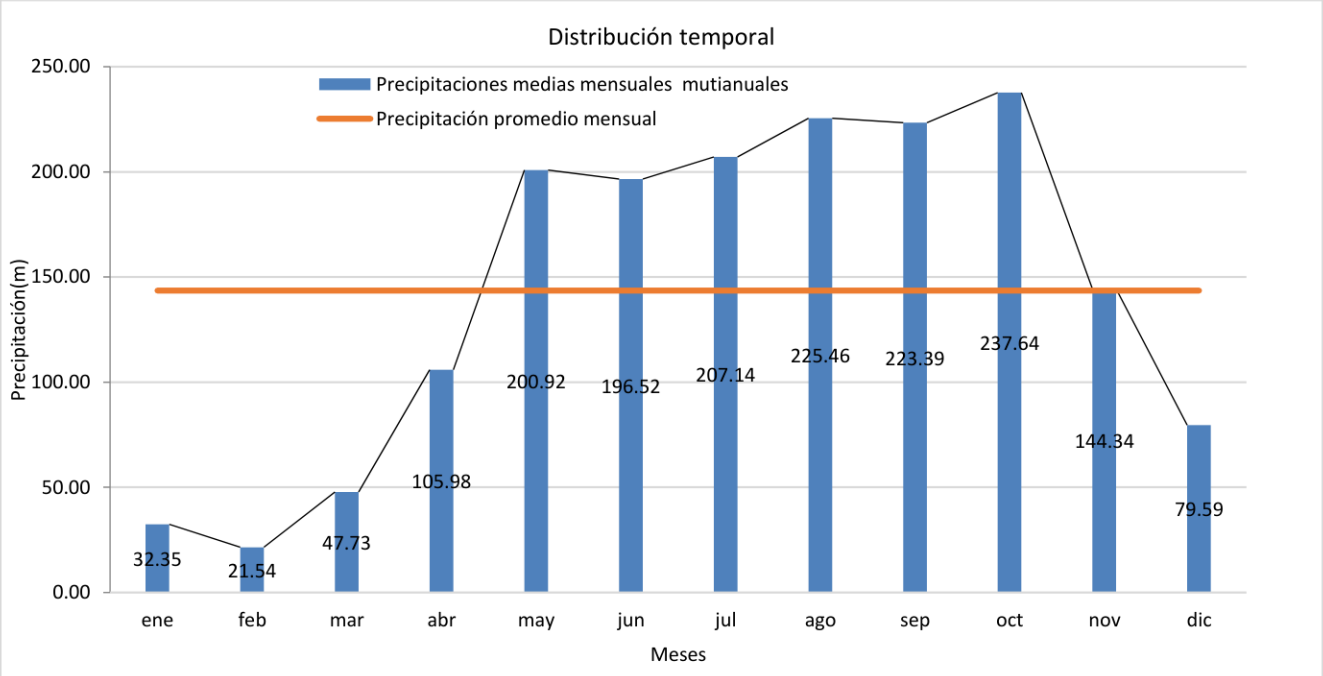
Según la distribución de las lluvias a lo largo del año en la estación de referencia para el área del proyecto, el régimen pluviométrico es monomodal. Este régimen es típico de esta zona y se caracteriza por presentar una temporada lluviosa, que en este caso es de mayo a octubre.

En general, en el área del proyecto se registran precipitaciones medias mensuales en el orden de 32.35 mm y 237.64 mm.

Los meses de agosto y octubre, son considerados como los más lluviosos, con valores totales medios mensuales de 225.46 mm y 237.64 mm respectivamente, mientras que el mes de febrero, es el mes menos lluvioso, con valores totales medios mensuales de 21.54 mm, como se aprecia en el siguiente gráfico.

La precipitación promedio mensual es del orden de 143.55 mm, como se indica en la línea recta, dentro del Gráfico 1.

Gráfico 1.Distribución temporal de la precipitación promedio mensual.



Fuente: Autor.

Con base a la información anterior, se programa la ecuación como se puede observar en la Tabla 23.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 23. Datos de entrada para programación IDF.

Estación:	ESPERANZA LA [25021340]]	**Coordenadas**	**Latitud**	9.2491666670	**Altitud =**	18
Denominación:	Pluviométrica		**Longitud**	-74.73611111		
CONTANTES DEL PROYECTO						
REGION	a	b	c	d	e	f
Caribe	8.51	0.21	0.5	-0.01	-0.08	0.28
ANALISIS CLIMATICO		$I = 8.51 * \frac{T^{0.21}}{t^{0.50}} * 102^{-0.01} * 69^{-0.08} * 1723^{0.28}$				
M(Promedio del Valor máximo anual de precipitación diaria)**mm**	**102**					
N(número promedio de días con lluvia al año) **DIAS**	**69**					
PT (Precipitación media anual)**mm**	**1723**					

Fuente: Autor.

En determinación a la ecuación obtenida se realiza la Tabla 24, Intensidades –Tiempo de duración para un tiempo de duración total de 180 minutos (3 hora) en intervalos de 1 minuto.

Tabla 24.Tabla de intensidades - Tiempo de duración(mm/h)

Duración (minutos)	**Periodo de retorno (años)**						
	2	**2.33**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
1	417.98	431.60	506.67	586.06	710.41	821.72	950.47
2	295.56	305.19	358.27	414.41	502.33	581.04	672.09
3	241.32	249.19	292.53	338.36	410.15	474.42	548.76
4	208.99	215.80	253.33	293.03	355.20	410.86	475.24
5	186.93	193.02	226.59	262.09	317.70	367.48	425.06
6	170.64	176.20	206.85	239.26	290.02	335.47	388.03
7	157.98	163.13	191.50	221.51	268.51	310.58	359.25
8	147.78	152.59	179.13	207.20	251.17	290.52	336.04
9	139.33	143.87	168.89	195.35	236.80	273.91	316.82
10	132.18	136.49	160.22	185.33	224.65	259.85	300.57
11	126.03	130.13	152.77	176.70	214.20	247.76	286.58
12	120.66	124.59	146.26	169.18	205.08	237.21	274.38
13	115.93	119.71	140.52	162.54	197.03	227.90	263.61
14	111.71	115.35	135.41	156.63	189.86	219.61	254.02
15	107.92	111.44	**130.82**	**151.32**	183.43	212.17	245.41
16	104.50	107.90	126.67	146.51	177.60	205.43	237.62
17	101.38	104.68	122.89	142.14	172.30	199.30	230.52

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	2.33	5	10	25	50	100
18	98.52	101.73	119.42	138.14	167.44	193.68	224.03
19	95.89	99.02	116.24	134.45	162.98	188.52	218.05
20	93.46	96.51	113.29	131.05	158.85	183.74	212.53
21	91.21	94.18	110.56	127.89	155.02	179.31	207.41
22	89.11	92.02	108.02	124.95	151.46	175.19	202.64
23	87.16	90.00	105.65	122.20	148.13	171.34	198.19
24	85.32	88.10	103.42	119.63	145.01	167.73	194.01
25	83.60	86.32	101.33	117.21	142.08	164.34	190.09
26	81.97	84.64	99.37	114.94	139.32	161.15	186.40
27	80.44	83.06	97.51	112.79	136.72	158.14	182.92
28	78.99	81.57	95.75	110.75	134.25	155.29	179.62
29	77.62	80.15	94.09	108.83	131.92	152.59	176.50
30	76.31	78.80	92.50	107.00	129.70	150.02	173.53
31	75.07	77.52	91.00	105.26	127.59	147.59	170.71
32	73.89	76.30	89.57	103.60	125.58	145.26	168.02
33	72.76	75.13	88.20	102.02	123.67	143.04	165.46
34	71.68	74.02	86.89	100.51	121.83	140.92	163.00
35	70.65	72.95	85.64	99.06	120.08	138.90	160.66
36	69.66	71.93	84.44	97.68	118.40	136.95	158.41
37	68.72	70.96	83.30	96.35	116.79	135.09	156.26
38	67.81	70.02	82.19	95.07	115.24	133.30	154.19
39	66.93	69.11	81.13	93.84	113.76	131.58	152.20
40	66.09	68.24	80.11	92.66	112.33	129.93	150.28
41	65.28	67.41	79.13	91.53	110.95	128.33	148.44
42	64.50	66.60	78.18	90.43	109.62	126.79	146.66
43	63.74	65.82	77.27	89.37	108.34	125.31	144.95
44	63.01	65.07	76.38	88.35	107.10	123.88	143.29
45	62.31	64.34	75.53	87.36	105.90	122.49	141.69
46	61.63	63.64	74.70	86.41	104.74	121.16	140.14
47	60.97	62.96	73.91	85.49	103.62	119.86	138.64
48	60.33	62.30	73.13	84.59	102.54	118.61	137.19
49	59.71	61.66	72.38	83.72	101.49	117.39	135.78
50	59.11	61.04	71.65	82.88	100.47	116.21	134.42
51	58.53	60.44	70.95	82.06	99.48	115.06	133.09
52	57.96	59.85	70.26	81.27	98.52	113.95	131.81
53	57.41	59.29	69.60	80.50	97.58	112.87	130.56
54	56.88	58.73	68.95	79.75	96.67	111.82	129.34
55	56.36	58.20	68.32	79.02	95.79	110.80	128.16
56	55.86	57.68	67.71	78.32	94.93	109.81	127.01
57	55.36	57.17	67.11	77.63	94.10	108.84	125.89
58	54.88	56.67	66.53	76.95	93.28	107.90	124.80
59	54.42	56.19	65.96	76.30	92.49	106.98	123.74
60	53.96	55.72	65.41	75.66	91.71	106.08	122.71
61	53.52	55.26	64.87	75.04	90.96	105.21	121.70
62	53.08	54.81	64.35	74.43	90.22	104.36	120.71
63	52.66	54.38	63.83	73.84	89.50	103.53	119.75
64	52.25	53.95	63.33	73.26	88.80	102.72	118.81
65	51.84	53.53	62.84	72.69	88.12	101.92	117.89

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	2.33	5	10	25	50	100
66	51.45	53.13	62.37	72.14	87.45	101.15	117.00
67	51.06	52.73	61.90	71.60	86.79	100.39	116.12
68	50.69	52.34	61.44	71.07	86.15	99.65	115.26
69	50.32	51.96	61.00	70.55	85.52	98.92	114.42
70	49.96	51.59	60.56	70.05	84.91	98.21	113.60
71	49.61	51.22	60.13	69.55	84.31	97.52	112.80
72	49.26	50.86	59.71	69.07	83.72	96.84	112.01
73	48.92	50.52	59.30	68.59	83.15	96.18	111.24
74	48.59	50.17	58.90	68.13	82.58	95.52	110.49
75	48.26	49.84	58.51	67.67	82.03	94.88	109.75
76	47.95	49.51	58.12	67.23	81.49	94.26	109.03
77	47.63	49.19	57.74	66.79	80.96	93.64	108.32
78	47.33	48.87	57.37	66.36	80.44	93.04	107.62
79	47.03	48.56	57.00	65.94	79.93	92.45	106.94
80	46.73	48.25	56.65	65.52	79.43	91.87	106.27
81	46.44	47.96	56.30	65.12	78.93	91.30	105.61
82	46.16	47.66	55.95	64.72	78.45	90.74	104.96
83	45.88	47.37	55.61	64.33	77.98	90.20	104.33
84	45.61	47.09	55.28	63.94	77.51	89.66	103.71
85	45.34	46.81	54.96	63.57	77.05	89.13	103.09
86	45.07	46.54	54.64	63.20	76.61	88.61	102.49
87	44.81	46.27	54.32	62.83	76.16	88.10	101.90
88	44.56	46.01	54.01	62.47	75.73	87.60	101.32
89	44.31	45.75	53.71	62.12	75.30	87.10	100.75
90	44.06	45.50	53.41	61.78	74.88	86.62	100.19
91	43.82	45.24	53.11	61.44	74.47	86.14	99.64
92	43.58	45.00	52.82	61.10	74.07	85.67	99.09
93	43.34	44.76	52.54	60.77	73.67	85.21	98.56
94	43.11	44.52	52.26	60.45	73.27	84.75	98.03
95	42.88	44.28	51.98	60.13	72.89	84.31	97.52
96	42.66	44.05	51.71	59.81	72.51	83.87	97.01
97	42.44	43.82	51.44	59.51	72.13	83.43	96.51
98	42.22	43.60	51.18	59.20	71.76	83.01	96.01
99	42.01	43.38	50.92	58.90	71.40	82.59	95.53
100	41.80	43.16	50.67	58.61	71.04	82.17	95.05
101	41.59	42.95	50.42	58.31	70.69	81.76	94.58
102	41.39	42.74	50.17	58.03	70.34	81.36	94.11
103	41.18	42.53	49.92	57.75	70.00	80.97	93.65
104	40.99	42.32	49.68	57.47	69.66	80.58	93.20
105	40.79	42.12	49.45	57.19	69.33	80.19	92.76
106	40.60	41.92	49.21	56.92	69.00	79.81	92.32
107	40.41	41.72	48.98	56.66	68.68	79.44	91.89
108	40.22	41.53	48.75	56.39	68.36	79.07	91.46
109	40.04	41.34	48.53	56.13	68.04	78.71	91.04
110	39.85	41.15	48.31	55.88	67.73	78.35	90.62
111	39.67	40.97	48.09	55.63	67.43	77.99	90.22
112	39.50	40.78	47.88	55.38	67.13	77.65	89.81
113	39.32	40.60	47.66	55.13	66.83	77.30	89.41

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	2.33	5	10	25	50	100
114	39.15	40.42	47.45	54.89	66.54	76.96	89.02
115	38.98	40.25	47.25	54.65	66.25	76.63	88.63
116	38.81	40.07	47.04	54.41	65.96	76.29	88.25
117	38.64	39.90	46.84	54.18	65.68	75.97	87.87
118	38.48	39.73	46.64	53.95	65.40	75.65	87.50
119	38.32	39.57	46.45	53.72	65.12	75.33	87.13
120	38.16	39.40	46.25	53.50	64.85	75.01	86.77
121	38.00	39.24	46.06	53.28	64.58	74.70	86.41
122	37.84	39.08	45.87	53.06	64.32	74.40	86.05
123	37.69	38.92	45.68	52.84	64.06	74.09	85.70
124	37.54	38.76	45.50	52.63	63.80	73.79	85.36
125	37.39	38.60	45.32	52.42	63.54	73.50	85.01
126	37.24	38.45	45.14	52.21	63.29	73.20	84.67
127	37.09	38.30	44.96	52.00	63.04	72.92	84.34
128	36.94	38.15	44.78	51.80	62.79	72.63	84.01
129	36.80	38.00	44.61	51.60	62.55	72.35	83.68
130	36.66	37.85	44.44	51.40	62.31	72.07	83.36
131	36.52	37.71	44.27	51.20	62.07	71.79	83.04
132	36.38	37.57	44.10	51.01	61.83	71.52	82.73
133	36.24	37.42	43.93	50.82	61.60	71.25	82.42
134	36.11	37.28	43.77	50.63	61.37	70.99	82.11
135	35.97	37.15	43.61	50.44	61.14	70.72	81.80
136	35.84	37.01	43.45	50.25	60.92	70.46	81.50
137	35.71	36.87	43.29	50.07	60.69	70.20	81.20
138	35.58	36.74	43.13	49.89	60.47	69.95	80.91
139	35.45	36.61	42.98	49.71	60.26	69.70	80.62
140	35.33	36.48	42.82	49.53	60.04	69.45	80.33
141	35.20	36.35	42.67	49.35	59.83	69.20	80.04
142	35.08	36.22	42.52	49.18	59.62	68.96	79.76
143	34.95	36.09	42.37	49.01	59.41	68.72	79.48
144	34.83	35.97	42.22	48.84	59.20	68.48	79.21
145	34.71	35.84	42.08	48.67	59.00	68.24	78.93
146	34.59	35.72	41.93	48.50	58.79	68.01	78.66
147	34.47	35.60	41.79	48.34	58.59	67.77	78.39
148	34.36	35.48	41.65	48.17	58.40	67.54	78.13
149	34.24	35.36	41.51	48.01	58.20	67.32	77.87
150	34.13	35.24	41.37	47.85	58.00	67.09	77.61
151	34.01	35.12	41.23	47.69	57.81	66.87	77.35
152	33.90	35.01	41.10	47.54	57.62	66.65	77.09
153	33.79	34.89	40.96	47.38	57.43	66.43	76.84
154	33.68	34.78	40.83	47.23	57.25	66.22	76.59
155	33.57	34.67	40.70	47.07	57.06	66.00	76.34
156	33.47	34.56	40.57	46.92	56.88	65.79	76.10
157	33.36	34.45	40.44	46.77	56.70	65.58	75.86
158	33.25	34.34	40.31	46.62	56.52	65.37	75.62
159	33.15	34.23	40.18	46.48	56.34	65.17	75.38
160	33.04	34.12	40.06	46.33	56.16	64.96	75.14
161	32.94	34.02	39.93	46.19	55.99	64.76	74.91

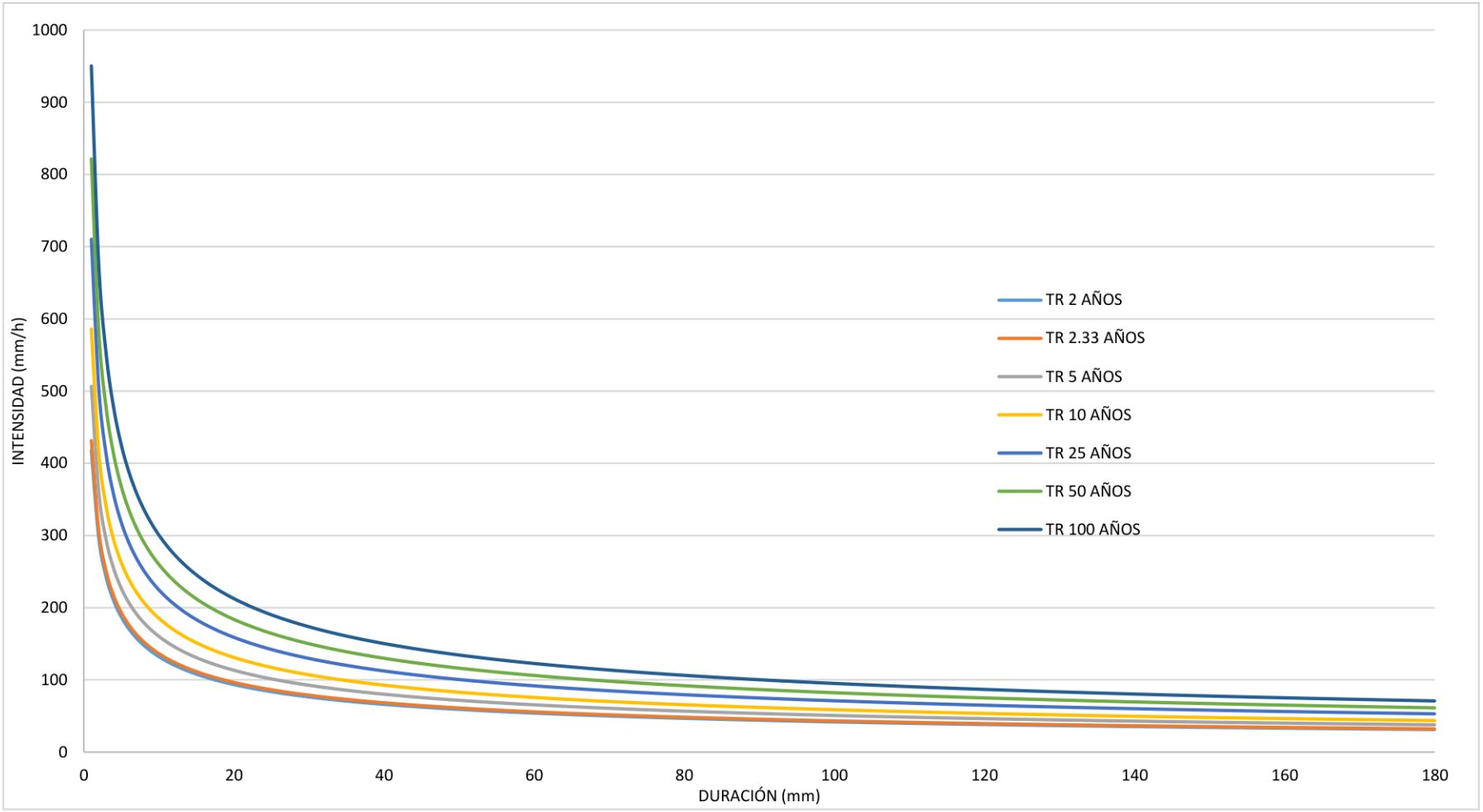
Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	2.33	5	10	25	50	100
162	32.84	33.91	39.81	46.05	55.81	64.56	74.68
163	32.74	33.81	39.69	45.90	55.64	64.36	74.45
164	32.64	33.70	39.56	45.76	55.47	64.17	74.22
165	32.54	33.60	39.44	45.62	55.31	63.97	73.99
166	32.44	33.50	39.33	45.49	55.14	63.78	73.77
167	32.34	33.40	39.21	45.35	54.97	63.59	73.55
168	32.25	33.30	39.09	45.22	54.81	63.40	73.33
169	32.15	33.20	38.97	45.08	54.65	63.21	73.11
170	32.06	33.10	38.86	44.95	54.49	63.02	72.90
171	31.96	33.01	38.75	44.82	54.33	62.84	72.68
172	31.87	32.91	38.63	44.69	54.17	62.66	72.47
173	31.78	32.81	38.52	44.56	54.01	62.47	72.26
174	31.69	32.72	38.41	44.43	53.86	62.29	72.06
175	31.60	32.63	38.30	44.30	53.70	62.12	71.85
176	31.51	32.53	38.19	44.18	53.55	61.94	71.64
177	31.42	32.44	38.08	44.05	53.40	61.76	71.44
178	31.33	32.35	37.98	43.93	53.25	61.59	71.24
179	31.24	32.26	37.87	43.80	53.10	61.42	71.04
180	31.15	32.17	37.76	43.68	52.95	61.25	70.84

Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Gráfico 2.Curvas IDF sintéticas regionalizadas.



Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

11.2. DETERMINACION DE CAUDAL DE DISEÑO METODO RACIONAL.

En relación a lo expuesto en el capítulo 8, en donde se plantean condiciones para implementación de este método para caudales de diseño en áreas menores de 80Ha y puesto que se está trabajando con tributarios que no superan este valor, se aplica el método de cálculo conforme a las fórmulas presentes en el mismo capítulo.
Los valores de intensidades se establecen de acuerdo a los resultados de la Tabla 24 y acuerdo al tiempo de concentración de 15 minutos(duración de la tormenta) , para un periodo de diseño de 5 y 10 años.
Para el coeficiente de escorrentía (C) se empleará los valores ponderados de la Tabla 25 , relacionadas con las superficies de las áreas discriminadas en la Tabla 14 y los valores de la Tabla 10.

Tabla 25. Ponderación coeficientes de escorrentía.

Tramo vial(ABSCISA)	AREAS AFERENTES	CÓD	% A1	C1		CÓD	% A2	C2		CÓD	% A3	C3		PONDERADO C	
				TR 5	TR 10			TR 5	TR 10			TR 5	TR 10	TR 5	TR 10
K0+000 - K0+250	A1/A2/A3 /A4	CON	12%	0.80	0.83	TEC	70%	0.80	0.83	ZVP1	18%	0.34	0.37	0.72	0.75
K0+250 - K0+340	A5	CON	19%	0.80	0.83	TEC	80%	0.80	0.83	ZVP1	1%	0.34	0.37	0.79	0.82
K0+340- K0+475	A6/A7	CON	17%	0.80	0.83	TEC	75%	0.80	0.83	ZVP1	8%	0.34	0.37	0.76	0.79
K0+475- K0+590	A8/A9	CON	24%	0.80	0.83	TEC	70%	0.80	0.83	ZVP1	6%	0.34	0.37	0.77	0.80
K0+590 - K0+680	A10	CON	21%	0.80	0.83	TEC	40%	0.80	0.83	ZVP1	39%	0.34	0.37	0.62	0.65
K0+680 - K0+760.76	A11	CON	34%	0.80	0.83	TEC	20%	0.80	0.83	ZVP1	46%	0.34	0.37	0.59	0.62

Fuente: Autor.

Con =Concreto; **Tec** =Techo; **ZVP1** =Zonas verdes Condición pobre- Plano, 0-2%

El resultado de los caudales para las áreas, se resume en la Tabla 26.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 26. Cálculo de caudales de tramos viales proyectados.

Tramo vial(ABSCISA)	AREAS AFERENTES	Tributarios	Descarga	ÁREA Ha	C PONDERADO		INTENSIDAD		CAUDAL (m3/s)	
					TR 5	TR 10	TR 5	TR 10	TR 5	TR 10
K0+000 - K0+250	A1/A2/A3/A4	Calle 16/Carrera 16/ Carrera 16a (vías y zonas residenciales)	Rejilla sumidero Carrera 16 (K0+000)	2.7832	0.72	0.75	130.8	151.3	0.727	0.877
K0+250 - K0+340	A5	Carrera 16/Calle 17a (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 17a	0.5559	0.79	0.82	130.8	151.3	0.161	0.193
K0+340- K0+475	A6/A7	Carrera 16/Calle 17b/Calle 20 (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 17b	1.1254	0.76	0.79	130.8	151.3	0.311	0.374
K0+475- K0+590	A8/A9	Carrera 16/Calle 20 (vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 21	0.5361	0.77	0.80	130.8	151.3	0.151	0.181
K0+590 - K0+680	A10	Carrera 16/(vías y zonas residenciales)	Carrera 16 / Calle 21	0.3033	0.62	0.65	130.8	151.3	0.068	0.083
K0+680 - K0+760.76	A11	Tramo Carrera 10 (vías y zonas residenciales)	Carrera 15	0.1649	0.59	0.62	130.8	151.3	0.035	0.043

Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

12. COMPONENTE HIDRÁULICO

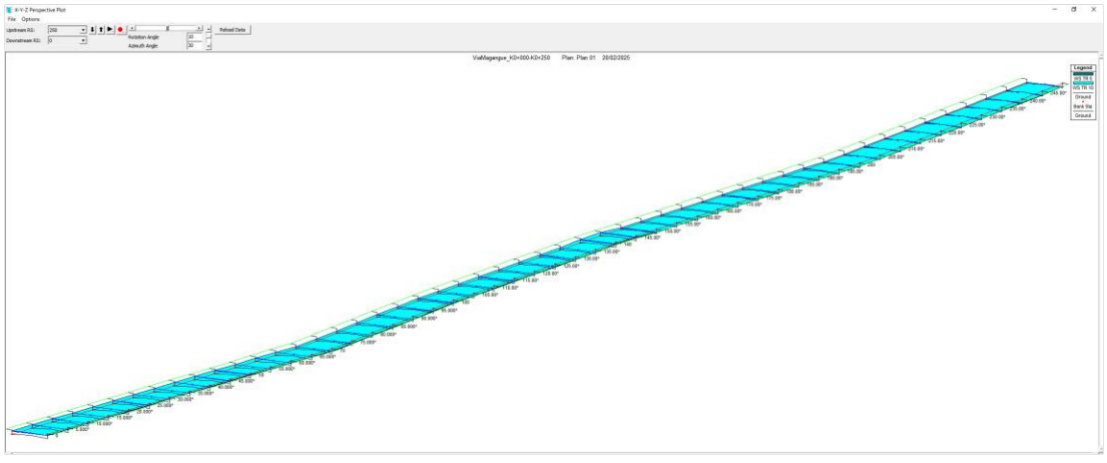
12.1. DETERMINACION DE SECCIONES HIDRÁULICAS DE VIAS PROYECTADAS MEDIANTE HEC RAS 5.0.

El análisis de flujo permanente tiene posibilidad de simular perfiles de agua para regímenes de flujo subcrítico, supercrítico y combinado. Procedimiento de cálculo se basa en la solución ecuación de la energía, a través de un proceso iterativo conocido como el método del paso estándar. Pérdidas de energía por fricción se calculan por medio la ecuación de Manning y las pérdidas debido a contracciones y expansiones se calculan multiplicando coeficiente por el cambio en la carga de velocidad. Situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado (salto hidráulico, presencia de puentes, de ríos) se utiliza la ecuación del Momento.

Para la determinación de las alturas mínimas de bordillo de los tramos viales proyectados, se modela la geometría con el programa HEC RAS 5.0, utilizando un n de Manning o valor de rugosidad de 0.014. Considerando anchos de calzada y el perfil longitudinal de las vías conforme a la última versión de los planos de diseño geométrico.

En las siguientes ilustraciones, se muestran los resultados de modelación hidráulica del tramo vial de la Carrera 16, comprendido entre las abscisas K0+000 y K0+250, al igual que el segundo tramo más extenso , entre las abscisas K0+250 y K0+590.

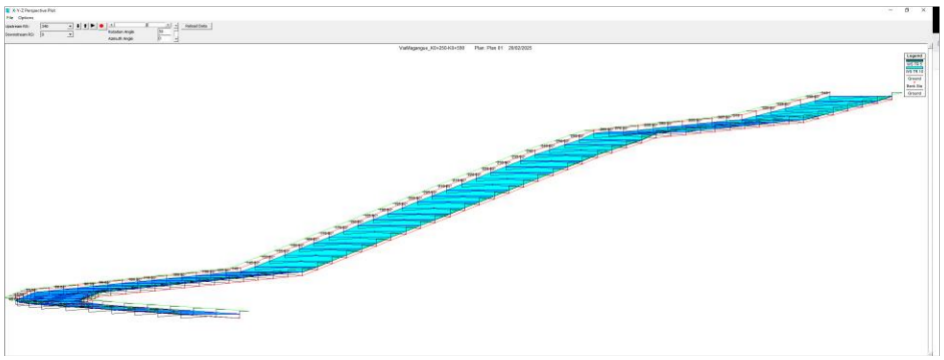
Ilustración 5. Perspectiva Modelación Hidráulica Carrera 16 (K0+000 y K0+250).



Fuente: Autor.

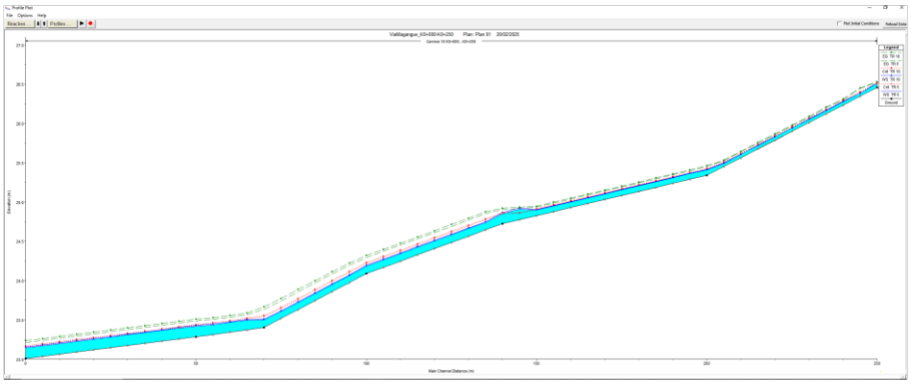
Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Ilustración 6. Perspectiva Modelación Hidráulica Carrera 16 (K0+250 y K0+590).



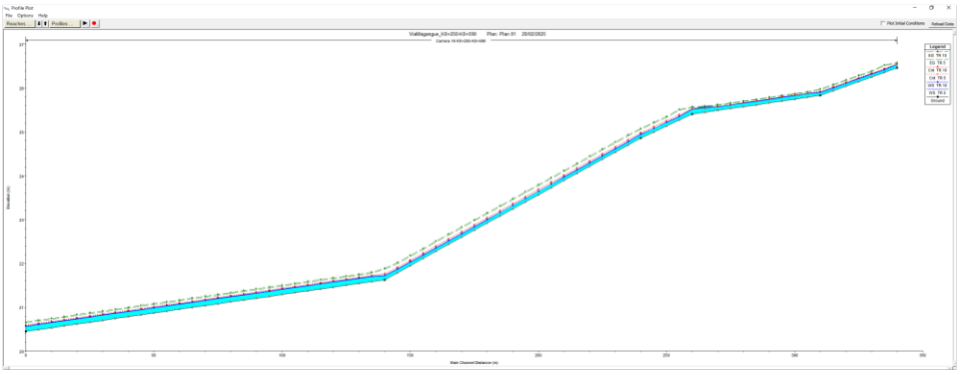
Fuente: Autor.

Ilustración 7. Perfil lámina de Carrera 16 (K0+000 y K0+250).



Fuente: Autor.

Ilustración 8. Perfil lámina de Carrera 16 (K0+250y K0+590).

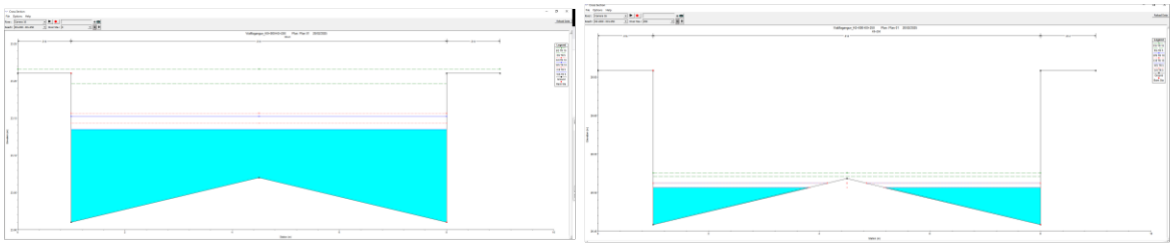


Fuente: Autor.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

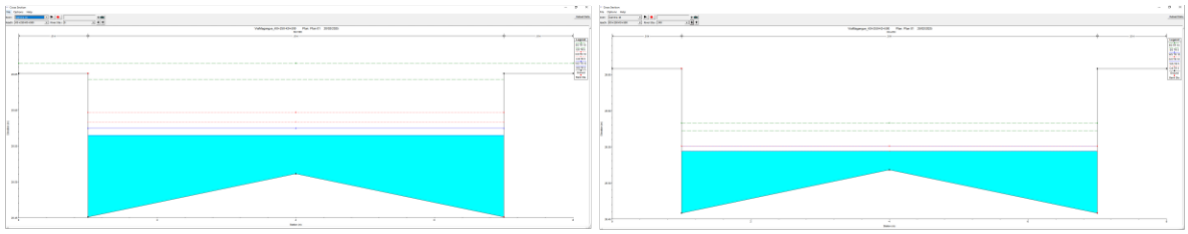
Además de ello, se puede visualizar el nivel del agua en las distintas secciones Hidráulicas, garantizando que están suplan la oferta hídrica.

Ilustración 9. Sección aguas abajo y aguas arriba; nivel de agua resultado de la modelación Hidráulica de la Carrera 16 (K0+000 y K0+250).



Fuente: Autor.

Ilustración 10. Sección aguas abajo y aguas arriba; nivel de agua resultado de la modelación Hidráulica de la Carrera 16 (K0+250 y K0+590).



Para mayor visualización de los detalles de la modelación, revisar **Anexo2.ModelacionesHidraulicas_HecRas.**

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Los resultados de las alturas de las láminas de agua, velocidades y régimen del flujo con un tiempo de retorno de 5 años, para los dos tramos principales, se resumen en la siguientes tablas.

Tabla 27. Resumen de modelación hidráulica Carrera 16 (K0+000 y K0+250).

River Sta		Profile	Q Total(m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+250	TR= 5 AÑOS	0.073	0.05	26.46	26.51	26.51	26.52	0.01	0.53	0.13753	5.66	1.08
VÍA	K0+245	TR= 5 AÑOS	0.073	0.03	26.35	26.38	26.39	26.44	0.05	1.03	0.070325	4.05	2.5
VÍA	K0+240	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	26.23	26.28	26.28	26.3	0.02	0.67	0.108103	5.03	1.47
VÍA	K0+235	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	26.12	26.16	26.17	26.2	0.03	0.85	0.08537	4.46	1.97
VÍA	K0+230	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	26.01	26.05	26.06	26.08	0.02	0.72	0.100573	4.85	1.6
VÍA	K0+225	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	25.9	25.94	25.95	25.97	0.02	0.81	0.090265	4.62	1.84
VÍA	K0+220	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	25.79	25.83	25.84	25.86	0.02	0.75	0.096398	4.74	1.69
VÍA	K0+215	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	25.68	25.71	25.72	25.75	0.02	0.79	0.091668	4.63	1.8
VÍA	K0+210	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	25.56	25.6	25.61	25.63	0.02	0.76	0.095375	4.72	1.71
VÍA	K0+205	TR= 5 AÑOS	0.073	0.04	25.45	25.49	25.5	25.52	0.02	0.79	0.09216	4.64	1.79
VÍA	K0+200	TR= 5 AÑOS	0.218	0.06	25.34	25.4	25.42	25.44	0.01	0.9	0.243106	7	1.54
VÍA	K0+195	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	25.29	25.36	25.36	25.39	0.01	0.77	0.284111	7	1.22
VÍA	K0+190	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	25.24	25.3	25.31	25.34	0.01	0.83	0.263723	7	1.36
VÍA	K0+185	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	25.19	25.25	25.26	25.29	0.01	0.8	0.273791	7	1.29
VÍA	K0+180	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	25.13	25.2	25.21	25.24	0.01	0.83	0.263381	7	1.36
VÍA	K0+175	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	25.08	25.15	25.16	25.18	0.01	0.81	0.269786	7	1.32
VÍA	K0+170	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	25.03	25.1	25.11	25.13	0.01	0.8	0.272985	7	1.29
VÍA	K0+165	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	24.98	25.05	25.06	25.08	0.01	0.82	0.266579	7	1.34
VÍA	K0+160	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	24.93	25	25.01	25.03	0.01	0.81	0.269054	7	1.32
VÍA	K0+155	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	24.88	24.95	24.95	24.98	0.01	0.81	0.269054	7	1.32
VÍA	K0+150	TR= 5 AÑOS	0.218	0.07	24.83	24.89	24.9	24.93	0.01	0.83	0.263885	7	1.36
VÍA	K0+145	TR= 5 AÑOS	0.218	0.12	24.78	24.9	24.85	24.9	0	0.34	0.633318	7	0.37

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

River Sta		Profile	Q Total(m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+140	TR= 5 AÑOS	0.582	0.12	24.72	24.84	24.84	24.89	0	0.93	0.623299	7	1
VÍA	K0+135	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.64	24.73	24.76	24.84	0.02	1.44	0.402828	7	1.92
VÍA	K0+130	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.57	24.66	24.68	24.75	0.01	1.34	0.4347	7	1.72
VÍA	K0+125	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.49	24.58	24.61	24.67	0.02	1.36	0.428392	7	1.75
VÍA	K0+120	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.41	24.5	24.53	24.59	0.02	1.36	0.427204	7	1.76
VÍA	K0+115	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.33	24.42	24.45	24.51	0.02	1.38	0.423045	7	1.79
VÍA	K0+110	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.25	24.34	24.37	24.44	0.02	1.38	0.423045	7	1.79
VÍA	K0+105	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.17	24.26	24.29	24.35	0.02	1.38	0.423045	7	1.79
VÍA	K0+100	TR= 5 AÑOS	0.582	0.09	24.09	24.18	24.21	24.28	0.02	1.38	0.423045	7	1.79
VÍA	K0+95	TR= 5 AÑOS	0.582	0.08	23.97	24.06	24.09	24.18	0.02	1.52	0.382521	7	2.08
VÍA	K0+90	TR= 5 AÑOS	0.582	0.08	23.86	23.95	23.98	24.06	0.02	1.52	0.382569	7	2.08
VÍA	K0+85	TR= 5 AÑOS	0.582	0.08	23.75	23.83	23.87	23.95	0.02	1.52	0.38305	7	2.07
VÍA	K0+80	TR= 5 AÑOS	0.582	0.08	23.63	23.72	23.75	23.83	0.02	1.51	0.384148	7	2.07
VÍA	K0+75	TR= 5 AÑOS	0.582	0.08	23.52	23.6	23.64	23.72	0.02	1.52	0.382016	7	2.08
VÍA	K0+70	TR= 5 AÑOS	0.655	0.09	23.4	23.5	23.53	23.61	0.02	1.53	0.42871	7	1.97
VÍA	K0+65	TR= 5 AÑOS	0.655	0.12	23.37	23.49	23.5	23.55	0.01	1.05	0.620638	7	1.13
VÍA	K0+60	TR= 5 AÑOS	0.655	0.12	23.34	23.46	23.47	23.52	0.01	1.05	0.624911	7	1.12
VÍA	K0+55	TR= 5 AÑOS	0.655	0.12	23.31	23.43	23.44	23.49	0.01	1.09	0.602951	7	1.18
VÍA	K0+50	TR= 5 AÑOS	0.728	0.13	23.28	23.41	23.42	23.47	0.01	1.09	0.67031	7	1.12
VÍA	K0+45	TR= 5 AÑOS	0.728	0.13	23.26	23.38	23.39	23.44	0.01	1.07	0.679198	7	1.1
VÍA	K0+40	TR= 5 AÑOS	0.728	0.13	23.23	23.36	23.36	23.41	0.01	1.06	0.686328	7	1.08
VÍA	K0+35	TR= 5 AÑOS	0.728	0.13	23.2	23.33	23.33	23.39	0	1.05	0.692123	7	1.07
VÍA	K0+30	TR= 5 AÑOS	0.728	0.13	23.17	23.3	23.31	23.36	0	1.03	0.705634	7	1.04
VÍA	K0+25	TR= 5 AÑOS	0.728	0.12	23.15	23.27	23.28	23.33	0.01	1.11	0.654871	7	1.16
VÍA	K0+20	TR= 5 AÑOS	0.728	0.12	23.12	23.24	23.25	23.31	0.01	1.1	0.661911	7	1.14
VÍA	K0+15	TR= 5 AÑOS	0.728	0.12	23.09	23.22	23.22	23.28	0.01	1.1	0.661911	7	1.14
VÍA	K0+10	TR= 5 AÑOS	0.728	0.12	23.07	23.19	23.2	23.25	0.01	1.1	0.662969	7	1.14

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

River Sta		Profile	Q Total(m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+5	TR= 5 AÑOS	0.728	0.12	23.04	23.16	23.17	23.22	0.01	1.1	0.661911	7	1.14
VÍA	K0+0	TR= 5 AÑOS	0.728	0.12	23.01	23.13	23.14	23.2	0.01	1.1	0.661903	7	1.14

Fuente: Autor.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior , bajo el dimensionamiento de la calzada con ancho de 7.0 m proyectado en el diseño geométrico, la lámina de agua alcanza una altura máxima de 13 cm. En cuanto a velocidades, estas superan en su mayoría la mínima según el manual de drenaje de 0.60m/s, lo cual no permite generar zonas de sedimentación , además, las velocidades son menores a las máximas permisibles por el concreto, según la Tabla 2, lo que a futuro no compromete la integridad del concreto. Las modelaciones para los tiempos de retorno de 5 y 10 años, para los demás tramos viales , se pueden observar en **Anexo2.ModelacionesHidraulicas_HecRas.**

Tabla 28. Resumen de modelación hidráulica Carrera 16 (K0+250 y K0+590).

River Sta		Profile	Q Total(m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+250	TR= 5 AÑOS	0.249	0.09	26.46	26.54	26.54	26.57	0.01	0.74	0.33713	7	1
VÍA	K0+255	TR= 5 AÑOS	0.249	0.06	26.35	26.41	26.44	26.51	0.04	1.36	0.182556	7	2.5
VÍA	K0+260	TR= 5 AÑOS	0.249	0.07	26.25	26.32	26.34	26.37	0.02	1.05	0.236922	7	1.69

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

River Sta		Profile	Q Total (m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+265	TR= 5 AÑOS	0.249	0.07	26.15	26.21	26.23	26.28	0.02	1.14	0.218637	7	1.91
VÍA	K0+270	TR= 5 AÑOS	0.249	0.07	26.04	26.11	26.13	26.17	0.02	1.11	0.224944	7	1.83
VÍA	K0+275	TR= 5 AÑOS	0.249	0.07	25.94	26	26.02	26.07	0.02	1.13	0.220249	7	1.88
VÍA	K0+280	TR= 5 AÑOS	0.249	0.07	25.83	25.9	25.92	25.96	0.02	1.13	0.219621	7	1.89
VÍA	K0+285	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.79	25.87	25.88	25.9	0.01	0.77	0.323275	7	1.06
VÍA	K0+290	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.75	25.82	25.83	25.86	0.01	0.89	0.27878	7	1.32
VÍA	K0+295	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.71	25.79	25.79	25.82	0.01	0.81	0.307174	7	1.14
VÍA	K0+300	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.66	25.74	25.75	25.78	0.01	0.87	0.285087	7	1.28
VÍA	K0+305	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.62	25.7	25.71	25.74	0.01	0.83	0.299946	7	1.19
VÍA	K0+310	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.58	25.66	25.66	25.69	0.01	0.85	0.293416	7	1.23
VÍA	K0+315	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.53	25.61	25.62	25.65	0.01	0.86	0.289203	7	1.25
VÍA	K0+320	TR= 5 AÑOS	0.249	0.08	25.49	25.57	25.58	25.61	0.01	0.86	0.290431	7	1.24
VÍA	K0+325	TR= 5 AÑOS	0.249	0.11	25.45	25.56	25.54	25.58	0	0.49	0.505175	7	0.54
VÍA	K0+330	TR= 5 AÑOS	0.436	0.11	25.41	25.52	25.52	25.56	0	0.9	0.485397	7	1.01
VÍA	K0+335	TR= 5 AÑOS	0.436	0.07	25.27	25.34	25.38	25.5	0.04	1.73	0.251977	7	2.69
VÍA	K0+340	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	25.14	25.21	25.25	25.33	0.02	1.48	0.294728	7	2.13
VÍA	K0+345	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	25	25.08	25.11	25.19	0.03	1.53	0.284989	7	2.24
VÍA	K0+350	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	24.86	24.94	24.97	25.06	0.03	1.53	0.285449	7	2.24
VÍA	K0+355	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	24.7	24.77	24.81	24.91	0.03	1.61	0.27142	7	2.41
VÍA	K0+360	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	24.54	24.61	24.65	24.74	0.03	1.6	0.272969	7	2.39
VÍA	K0+365	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	24.38	24.45	24.49	24.58	0.03	1.61	0.270813	7	2.42
VÍA	K0+370	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	24.21	24.29	24.32	24.42	0.03	1.61	0.27105	7	2.42
VÍA	K0+375	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	24.05	24.13	24.16	24.26	0.03	1.61	0.27105	7	2.42
VÍA	K0+380	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	23.89	23.97	24	24.1	0.03	1.6	0.271964	7	2.4
VÍA	K0+385	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	23.73	23.8	23.84	23.93	0.03	1.6	0.272794	7	2.39
VÍA	K0+390	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	23.57	23.64	23.68	23.77	0.03	1.6	0.271636	7	2.41
VÍA	K0+395	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	23.41	23.48	23.52	23.61	0.03	1.61	0.270506	7	2.42

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

River Sta		Profile	Q Total (m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+400	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	23.24	23.32	23.36	23.45	0.03	1.61	0.270597	7	2.42
VÍA	K0+405	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	23.08	23.16	23.19	23.29	0.03	1.6	0.271602	7	2.41
VÍA	K0+410	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	22.92	23	23.03	23.13	0.03	1.61	0.270681	7	2.42
VÍA	K0+415	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	22.76	22.84	22.87	22.97	0.03	1.61	0.270681	7	2.42
VÍA	K0+420	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	22.6	22.67	22.71	22.81	0.03	1.61	0.270688	7	2.42
VÍA	K0+425	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	22.44	22.51	22.55	22.64	0.03	1.61	0.270688	7	2.42
VÍA	K0+430	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	22.28	22.35	22.39	22.48	0.03	1.61	0.270688	7	2.42
VÍA	K0+435	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	22.11	22.19	22.22	22.32	0.03	1.61	0.270688	7	2.42
VÍA	K0+440	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	21.95	22.03	22.06	22.16	0.03	1.61	0.270688	7	2.42
VÍA	K0+445	TR= 5 AÑOS	0.436	0.08	21.79	21.87	21.9	22	0.03	1.6	0.271602	7	2.41
VÍA	K0+450	TR= 5 AÑOS	0.623	0.09	21.63	21.72	21.76	21.86	0.02	1.68	0.371132	7	2.15
VÍA	K0+455	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.59	21.7	21.72	21.78	0.01	1.24	0.502301	7	1.37
VÍA	K0+460	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.54	21.66	21.68	21.74	0.01	1.24	0.502301	7	1.37
VÍA	K0+465	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.5	21.62	21.63	21.69	0.01	1.24	0.503215	7	1.36
VÍA	K0+470	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.46	21.57	21.59	21.65	0.01	1.24	0.502301	7	1.37
VÍA	K0+475	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.42	21.53	21.55	21.61	0.01	1.24	0.502294	7	1.37
VÍA	K0+480	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.38	21.49	21.51	21.57	0.01	1.24	0.502294	6	1.37
VÍA	K0+485	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.33	21.45	21.47	21.53	0.01	1.24	0.502294	6	1.37
VÍA	K0+490	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.29	21.41	21.42	21.48	0.01	1.24	0.503215	6	1.36
VÍA	K0+495	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.25	21.36	21.38	21.44	0.01	1.24	0.502301	6	1.37
VÍA	K0+500	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.21	21.32	21.34	21.4	0.01	1.24	0.502301	6	1.37
VÍA	K0+505	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.17	21.28	21.3	21.36	0.01	1.24	0.502301	6	1.37
VÍA	K0+510	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.12	21.24	21.26	21.32	0.01	1.24	0.502301	6	1.37
VÍA	K0+515	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.08	21.2	21.21	21.27	0.01	1.24	0.502301	6	1.37
VÍA	K0+520	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21.04	21.15	21.17	21.23	0.01	1.23	0.505957	6	1.35
VÍA	K0+525	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	21	21.11	21.13	21.19	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+530	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.96	21.07	21.09	21.15	0.01	1.24	0.504045	6	1.36

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

River Sta		Profile	Q Total(m3/s)	Altura mojada en la sección (m)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura lámina de agua(m)	Cota del calado critico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad de agua en el cauce (m/s)	Superficie mojada en la sección (m2)	Ancho de la superficie libre de flujo en la sección (m)	Numero de Froude
VÍA	K0+535	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.91	21.03	21.05	21.1	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+540	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.87	20.98	21	21.06	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+545	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.83	20.94	20.96	21.02	0.01	1.23	0.504959	6	1.36
VÍA	K0+550	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.79	20.9	20.92	20.98	0.01	1.24	0.504038	6	1.36
VÍA	K0+555	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.74	20.86	20.88	20.94	0.01	1.24	0.504038	6	1.36
VÍA	K0+560	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.7	20.82	20.84	20.89	0.01	1.24	0.504038	6	1.36
VÍA	K0+565	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.66	20.77	20.79	20.85	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+570	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.62	20.73	20.75	20.81	0.01	1.23	0.504959	6	1.36
VÍA	K0+575	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.58	20.69	20.71	20.77	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+580	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.53	20.65	20.67	20.73	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+585	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.49	20.61	20.63	20.68	0.01	1.24	0.504045	6	1.36
VÍA	K0+590	TR= 5 AÑOS	0.623	0.11	20.45	20.56	20.58	20.64	0.01	1.24	0.504045	6	1.36

Fuente: Autor.

De acuerdo a lo observado en la tabla anterior , bajo el dimensionamiento de la calzada con ancho de 6.0 m a 7.0m, proyectado en el diseño geométrico, la lámina de agua alcanza una altura máxima de 11 cm. En cuanto a velocidades, estas superan en su mayoría la mínima según el manual de drenaje de 0.60m/s, lo cual no permite generar zonas de sedimentación , además, las velocidades son menores a las máximas permisibles por el concreto, según la Tabla 2, lo que a futuro no compromete la integridad del concreto. Las modelaciones para los tiempos de retorno de 5 y 10 años, para los demás tramos viales , se pueden observar en **Anexo2.ModelacionesHidraulicas_HecRas.**

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

12.2. CHEQUE DE SUMIDERO EXISTENTE Y ALCANTARILLA PROYECTADA.

En el sector que se ubica el tramo inicial de la vía (K0+000– K0+010), actualmente hay una estructura de recolección de aguas lluvias tipo sumidero, esta zona presenta encharcamiento lo cual obliga a la ampliación y/o proyección de estructura de recolección tipo alcantarilla, en sentido transversal a la vía .

El chequeo del dimensionamiento en planta y/o evaluación de las aguas desde la apertura superior del sumidero y de la alcantarilla proyectada, se basa en que la eficiencia frontal de la rejilla (que se define como la relación entre el caudal interceptado frontalmente por la rejilla).

$$Ew = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

Donde:
W es el ancho efectivo de la rejilla
T el ancho de esparcimiento
La relación entre el flujo lateral, Qx, para el flujo en la calle, Qs es:

$$Ex = \frac{Qx}{Qs} = 1 - Ew$$

Como aspecto importante hay que tener en cuenta que la intercepción de flujo frontal por una rejilla está determinada por la velocidad de flujo en las áreas aferentes en la zona interna de la pista , la velocidad de salpicadura y la longitud de la rejilla. Datos prácticos de laboratorio han determinado que las rejillas interceptan la totalidad del flujo frontal hasta una velocidad en la que el agua comienza a salpicar sobre la parrilla. Para el caso de velocidades superiores de salpicado (splash-over), la eficiencia de intercepción del flujo frontal en la rejilla disminuye. Entonces se define la velocidad de salpicadura como la velocidad bajo una rejilla obstruida.

$$Vo = p + qL - rL^2 + sL^3$$

Donde los factores p, q, r, s están dados por:

Tabla 29. Parámetros para el cálculo de velocidad de salpicaduras.

Tipo de Rejilla	p	q	r	s
Barra P -1-7/8 (A)	0.6767	4.03	2.1325	0.6458
Barra P -1-7/8 (B)	0.5364	3.12	1.4764	0.3229
Platinas	0.0914	4.85	4.2979	1.6146
Barra 45°	0.3018	2.64	1.1811	0.3229
Barra P -1-7/8-4	0.2256	2.44	0.8858	0.2153

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tipo de Rejilla	p	q	r	s
Barra 30°	0.1554	2.34	0.6562	0.1076
Reticulada	0.0853	2.28	0.5906	0.1076

El porcentaje de intercepción del flujo frontal Rf, está expresado por: Si Vs>Vo, entonces

$$Rf = 1 - Kc(Vs - Vo)$$

Si no

$$Rf = 1$$

Donde:

Vs, es la velocidad del flujo en la cuneta (m/s)

Kc, es un coeficiente igual a 0.295 para sistema internacional de unidades

El porcentaje de Intercepción del flujo lateral, Rs, está expresado por:

$$Rs = \frac{1}{1+\frac{0.0828Vs^{1.8}}{SxL^{2.3}}}$$

Donde:

Vs, es la velocidad en la cuneta en m/s; Sx, es la pendiente transversal de la vía en m/m y L, es la longitud de la rejilla en m.

Como resultado el caudal interceptado es:

$$Qi = EQs = RfQw + RsQx = [RfEw + Rs(1 - Ex)]Qs$$

Captación Transversal de rejilla

Para el cálculo de las rejillas se utilizó la siguiente expresión:

$$L = \frac{H}{C_d A_*}\left\{1.5\left[\frac{y}{H}\left(1-\frac{y}{H}\right)\right]^{1/2} - 0.25sen^{-1}\left[1-\frac{2y}{H}\right]+\frac{\pi}{8}\right\}$$

Donde:

H : Energía específica del flujo, dada por

$$H = y + \frac{Q^2}{2gB^2y^2}$$

y: Profundidad de la lámina de agua

B: Ancho de la rejilla

g: Aceleración de la gravedad

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Cd: Coeficiente de descarga
A*: Relación entre el área libre y el área total de la rejilla
L: Longitud de la rejilla

De acuerdo a ello, se realizan los cálculos y se resume en las siguiente tabla la evaluación de la sección en planta del sumidero y de la alcantarilla transversal proyectada, considerando como caudales de entrada los de la Tabla 26, para un periodo de retorno de 10 años, y como tramo de afluente el comprendido entre la abscisa K0+000 Y K0+250.

Tabla 30. Chequeo longitud de rejilla y unidades por sección de apertura en sumidero existente.

CHEQUEO DE LONGITUD DE REJILLA DE CAPTACION TRANSVERSAL		
Punto de captación	Rejilla Sumidero K0+000 (Existente)	
Caudal	0.87654	m^3/s
Ancho	0.50	m
Lámina Agua máx	0.13	m
Gravedad	9.81	m/s^2
Relación area libre	0.4	-
Coeficiente descarga	0.75	-
Energía	9.40	m
Términos ecuación	1	31.329
	2	0.175
	3	0.334
	4	0.393
Longitud mínima de rejilla	7.33	m
Largo de la rejilla existente (m)	0.8	m
# de Hileras de rejillas	9.2	9

Fuente: Autor

De acuerdo a la tabla anterior, se necesitarían aproximadamente 9 unidades de esa misma estructura para suplir el caudal de entrega. Por lo que el sumidero es ineficiente y se proyectará una alcantarilla transversal que ampliará el área de recolección de aguas lluvias.

Para la estructura a proyectar, se plantea una alcantarilla transversal de ancho 0.60m y largo 7.0m (ancho de calzada). Los resultados del chequeo hidráulico del área de captación se observan en la siguiente tabla.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Tabla 31. Chequeo longitud de rejilla y unidades por sección de apertura en Alcantarilla transversal proyectada.

CALCULO DE LONGITUD DE REJILLA DE CAPTACION TRANSVERSAL		
Punto de captación	Rejilla K0+000 (proyectada)	
Caudal	0.87654	m^3/s
Ancho	0.60	m
Lámina Agua máx	0.15	m
Gravedad	9.81	m/s^2
Relación area libre	0.4	-
Coeficiente descarga	0.75	-
Energía	4.98	m
Términos ecuación	1	16.615
	2	0.256
	3	0.306
	4	0.393
Longitud mínima de rejilla	5.71	m
Largo de la rejilla proyectado (m)	7	m
# de Hileras de rejillas	1	1

En cumplimiento con la capacidad hidráulica para el caudal máximo de 0.877 m3/s, con Tr de 10 años, la rejilla para la apertura de la alcantarilla, debe tener una sección mínima de 0.60m, una longitud mínima de 7.0m y un área efectiva mínimo del 40%.

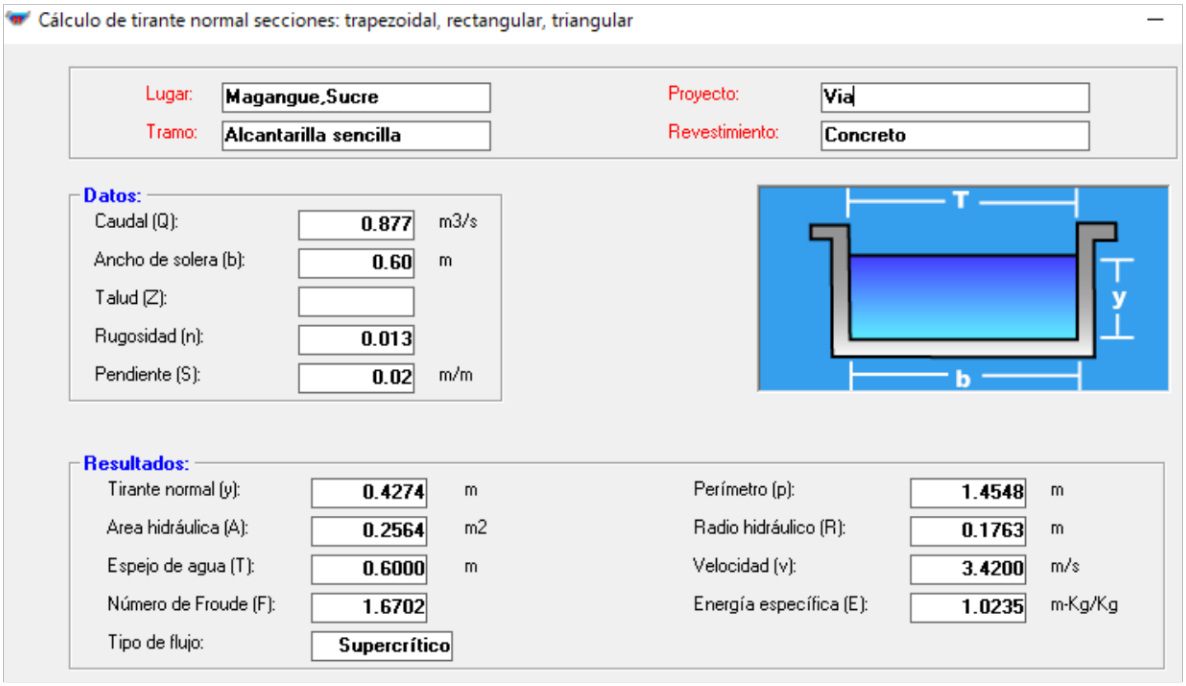
12.3. CHEQUEO SECCIÓN TRANSVERSAL DE ALCANTARILLA.

La alcantarilla proyectada con la condiciones anteriores, debe tener la suficiente profundidad para evacuar de manera eficiente las aguas de escurrimiento provenientes de la vía, y a su vez, tener un empalme eficiente con la estructura existente, que para este caso es un sumidero con profundidad de 1.0m.

La evaluación de la sección transversal de esta alcantarilla se hace mediante el programa HCanales, empleando un N de Manning de 0.013. El esquema resultantes de esta modelación se observa en las siguiente ilustración.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

Ilustración 11. Chequeo hidráulico de alcantarilla proyectada.



Fuente: Autor.

Como se observa en los resultados de las modelación, se tiene un tirante normal de 42 cm. Para garantizar una correcta evacuación, se proyecta esta estructura con una pendiente del 2.0%, una profundidad inicial de 45cm y una final de 60cm. Para mayor detalle revisar de las características de la estructura y su empalme con el sumidero ver **Anexo3.Plano.**

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

13. RESULTADOS.

Del análisis hidrológico y evaluaciones hidráulicas de los tramos viales y alcantarilla proyectada, se obtuvieron los siguientes resultados, resumidos en la Tabla 32 y Tabla 33.

Tabla 32. Resultados estimación de caudales y chequeos hidráulicos de tramos viales.

UBICACIÓN	Tramo vial(ABSCISA)	GEOMETRIA VÍA		CAUDALES DE DISEÑO (m3/s) TC 15 MIN		Altura máxima Lámina de agua(m)	velocidad máxima (m/s)
		Ancho(m)	Altura de bordillo propuesta (m)	TR 5	TR 10		
Carrera 16	K0+000 - K0+250	7	0.15	0.727	0.877	0.13	1.5
	K0+250 - K0+340	7	0.15	0.161	0.193	0.11	1.7
	K0+340- K0+475	7	0.15	0.311	0.374	0.11	1.7
	K0+475- K0+590	6	0.15	0.151	0.181	0.11	1.2
	K0+590 - K0+680	6	0.15	0.068	0.083	0.06	1.3
	K0+680 - K0+760.76	6	0.15	0.035	0.043	0.06	1.3

Fuente: Autor

Tabla 33. Resultados estimación de caudales y chequeos hidráulicos de alcantarilla transversal proyectada.

UBICACIÓN	Tramo vial(ABSCISA)	GEOMETRIA ALCANTARILLA			CAUDALES DE DISEÑO (m3/s) TC 15 MIN	Altura máxima Lámina de agua(m)	% de llenado	velocidad máxima (m/s)
		Ancho(m)	profundidad final (m)	Longitud(m)	TR 10			
Carrera 16	K0+000 - K0+010	0.6	0.6	7.0	0.877	0.42	70.00%	3.4

Fuente: Autor

Los resultados de las modelaciones hidráulicas y los planos de detalle de la estructura de drenaje vial ,se pueden observar a mayor detalle en el **Anexo2.ModelacionesHidraulicas_HecRas** y **Anexo3.Plano**

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

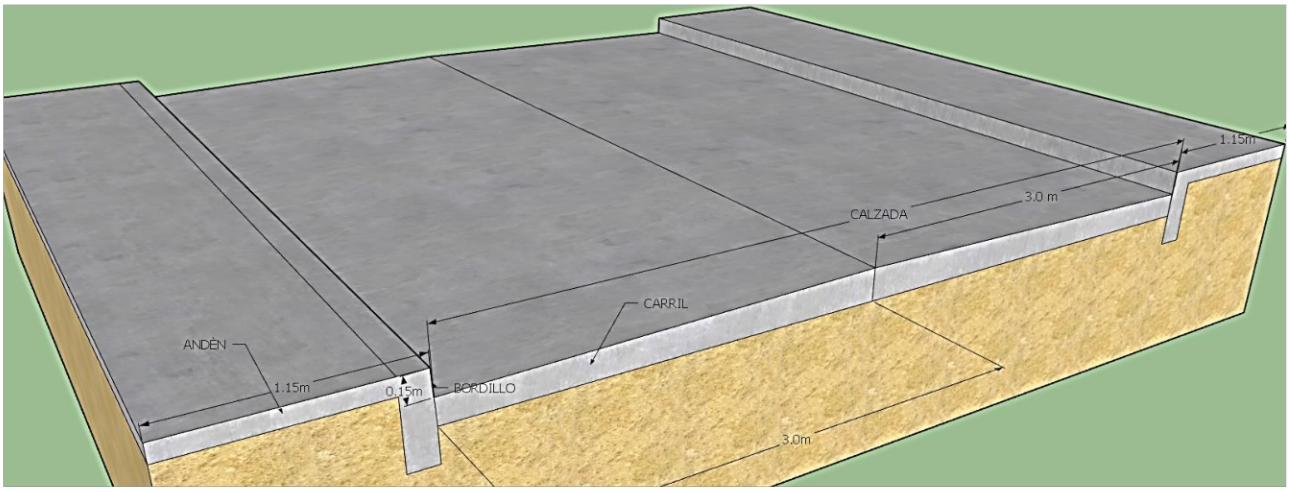
14. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio hidrológico y diseño hidráulico para el manejo de la escorrentía superficial de los tramos viales, como objeto de: "CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CARRERA 16 ENTRE CALLE 16 Y CALLE 31 EN EL MUNICIPIO DE MAGANGUÉ, BOLÍVAR", se plantea los siguiente:

Las evaluaciones hidráulicas de los tramos viales se desarrollan para un tiempo de retorno de 5 años, no obstante, en los resultados de modelación por Hec Ras dentro del entregable: Anexo2.ModelacionesHidraulicas_HecRas, se hace el chequeo para un tiempo de retorno de 10 años, cumpliendo con la sección y geometría necesaria para dar respuesta antes eventos meteorológicos superiores a los planteados como criterios de diseño según normativa.

La altura máxima de la lámina de agua para los tramo viales en estudio, de acuerdo a la propuesta de diseño geométrico se genera en el orden de los 3.0 cm a los 13.0 cm, siendo este último valor el indicador para la altura del bordillo. Por cuestiones de constructivas y con el propósito de tener una holgura por un evento climatológico o remanente con altas intensidades, se propone una altura efectiva de 15cm, como se puede observar en la Ilustración 12.

Ilustración 12. Esquema típico perspectiva de vía .



Fuente: Autor

Para mejorar las condiciones de drenaje al inicio del abscisado, se proyecta una estructura de drenaje transversal, lo cual permitirá la evacuación más rápida de las aguas y así evitar

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

problemas de encharcamientos por largos periodos. Esta estructura será en sección rectangular, de ancho 0.60m , profundidades de 0.45m a 0.60m, y su longitud abarcará el ancho completo de la calzada para este tramo (7.0m). Para mayor detalle de la geometría , cotas y dimensiones, dirigirse a Anexo3.Plano/ PL_HH_ObrasDrenajeVial_Magangue-Bolivar

Ilustración 13. Alcantarilla Transversal proyectada y empalme con sumidero existente.



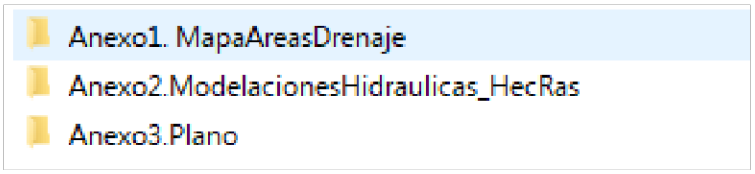
Fuente: Autor, Plano: PL_HH_ObrasDrenajeVial_Magangue-Bolivar

Se recomienda realizar las actividades de construcción en época de verano, y se debe contar con un sistema de bombeo temporal con el fin de evitar inundaciones en la obra.

Las dimensiones establecidas son secciones hidráulicas y no incluyen las secciones estructurales.

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com

15. ANEXOS



16. REFERENCIAS.

Invías, Manual de drenaje para carreteras. Bogotá D.C.: Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, 2009.

Ministerio de transporte INVIAS, Guía de diseño de pavimentos con placa-huella. 2015.

GAVILAN, L. manual de diseño de Drenaje superficial. Editorial Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2004.

BARROS, G. Hidrología. Editorial Universidad de Sucre. Sincelejo. **1990**.

IGAC. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras. Departamento de Sucre **1998**.

VEN TE CHOW. Hidráulica de Canales Abiertos. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá. **1994**.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hydrologic Modeling System *HEC-HMS, User's*

Manual, version 3.5, Army Corps of Engineers, **2007**.

MORAD, M. y TRIVIÑO, A. Sistemas de Información Geográfica y modelizaciones hidrológicas: Una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación, en *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 31. **2001**.
NANIA, L. Método

Cra 10 # 6-74, Sincelejo (Sucre) Cel: 3126632151
ingluismontes2015@gmail.com