ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE ARAUCA
MUNICIPIO DE ARAUQUITA

Alcaldía de Arauquita

PROYECTO

AMPLIACIÓN DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ARAUQUITA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA

CONSULTOR
EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y SANITARIA

NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Ingeniero Civil – Universidad Francisco de Paula Santander
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental - Universidad Manuela Beltrán
Magíster en Obras Hidráulicas (Ven) o Recursos Hídricos (Col) – Universidad de los Andes
Doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental - Universidad del Valle

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

JULIO 2026

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7
2. CONSIDERACIONES GENERALES 8
2.1 OBJETIVO GENERAL 8
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 8
2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO Y ALCANCE 8
2.4 ACCIONES LEGALES 9
3. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ACTUAL 10
4. GENERALIDADES 19
4.1 RESEÑA HISTÓRICA 19
4.2 GEOGRAFÍA 19
4.3 ECONOMÍA 20
4.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN 21
4.5 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO 21
4.5.1 Precipitación 22
4.5.2 Temperatura Mensual 25
4.5.3 Evaporación Media Mensual 26
4.5.4 Humedad Relativa 27
5. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL 28
5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO 28
5.1.1 Tipo De Cobertura 28
5.1.2 Intensidad – Frecuencia – Duración de las Lluvias 28
5.1.3 Periodos De Retorno De Diseño 29
6. ESTUDIO HIDROLÓGICO 30
6.1 DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE DRENAJE 30
6.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA 32
6.2.1 Prueba de Datos Dudosos Para Cada Estación. 33
6.2.2 Prueba De Bondad De Ajuste De Kolmogorov Smirnov. 33
6.2.3 Distribución De Probabilidad Con El Mejor Ajuste Para La Estación. 33
6.2.4 Obtención De Las Curvas IDF Por El Método Simplificado 33

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

6.3 CÁLCULO DE CAUDALES 36
6.3.1 Cálculo de caudales por el método racional 36
6.3.1.1 Tiempo De Concentración 36
6.3.1.2 Coeficiente De Escorrentía 38
7. ANÁLISIS HIDRÁULICOS DEFINITIVOS 40
7.1 CONSIDERACIONES GENERALES 40
7.2 CONSIDERACIONES ESPECIFICAS 41
7.3 PARÁMETROS DE DISEÑO 41
7.3.1 Velocidad 41
7.3.1.1 Velocidad Mínima 41
7.3.1.2 Velocidad Máxima 41
7.3.2 Pendiente 41
7.3.2.1 Pendiente mínima 42
7.3.2.2 Pendiente máxima 42
7.3.3 Pendiente Transversal o peralte 42
7.4 DISEÑO DE CANALIZACIÓN 42
7.4.1 Diseño de Curvas En Canales 47
7.4.1.1 Sobreelevación Del Agua Por La Curvatura 48
7.4.1.2 Estimación de la sobreelevación del nivel de agua por efecto de las curvas en canales. 49
7.5 TRANSICIÓN EN CANALES 50
7.6 TRANSICIONES 50
7.7 MODELACIÓN HIDRÁULICA EN HEC RAS 51
7.7.1 Procedimiento de Calculo 51
7.7.1 Coeficiente de Rugosidad 53
7.7.2 Caudal de diseño 53
7.7.3 Modelación Hidráulica 53
7.7.3.1 Resultados de la modelación hidráulica 54
8. CONCLUSIONES 56
RECOMENDACIONES 58
BIBLIOGRAFÍA 59

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones climatológicas y pluviométricas del IDEAM 22
Tabla 2.Periodos de retorno de diseño 29
Tabla 3. Áreas de drenaje canalización. 32
Tabla 4. Información de la estación IDEAM 33
Tabla 5. Parámetros acordes a la región. 34
Tabla 6. Tiempo de concentración para el proyecto 38
Tabla 7 Coeficiente De Escorrentía (Título D RAS). 38
Tabla 8. Caudales por el método racional. 39
Tabla 9. Diseño hidráulico canalización. 43
Tabla 10. Evaluación hidráulica Box Culvert existentes. 46
Tabla 11. Coeficiente C acorde al tipo de régimen de flujo. 49
Tabla 12 Cálculo de la sobreelevación por efecto de la curvatura 50
Tabla 13. Cálculo de transiciones 51

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores de precipitación media mensual- Estación Morichal 22
Figura 2. Valores de precipitación media mensual- Estación Arauquita 23
Figura 3. Valores de precipitación media mensual- Estación Saravena 23
Figura 4. Valores de precipitación media mensual- Estación Aeropuerto Santiago Pérez 24
Figura 5. Valores Totales de precipitación media mensual 24
Figura 6. Valores medios mensuales de temperatura 25
Figura 7. Valores máximos mensuales de temperatura 25
Figura 8. Valores mínimos mensuales de temperatura 26
Figura 9. Valores evaporación media mensual 26
Figura 10. Valores medios de humedad relativa 27
Figura 11. Plan Maestro Alcantarillado pluvial municipio de Arauquita. 30
Figura 12. Áreas de drenaje zona de estudio. 31
Figura 13. Definición puntos de control del proyecto. 32
Figura 14. Regiones en Colombia para definición de parámetros a,b,c,d método simplificado para la obtención de curvas IDF 34
Figura 15. Curvas IDF estación ARAUQUITA 35
Figura 16. Sección tipo I canalización. 44
Figura 17. Sección tipo II canalización. 45
Figura 18. Sección tipo III canalización. 45
Figura 19. Sección transversal Box Culvert proyectado. 45
Figura 20. Esquema de Curvas en Canales. 47
Figura 21. Esquema de transición 50
Figura 22. Esquema general de Transiciones 51
Figura 23. Perfiles de flujo para el modelo HEC-RAS. 52
Figura 24. Geometría de la canalización. 54
Figura 25. Vista isométrica de la modelación. 55
Figura 26. Perfil hidráulico de la canalización. 55

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 Vista aérea zona de inundación inicial 10
Imagen 2 Vista terrestre zona de inundación inicial 11
Imagen 3 Vista aérea Box Culvert existente 1. 11
Imagen 4. Box Culvert existente 1. 12
Imagen 5 Vista terrestre Box Culvert existente 1 12
Imagen 6 Vista aérea tramo 2 13
Imagen 7 Vista terrestre tramo 2 13
Imagen 8 Vista terrestre paso de vía en tubo existente. 14
Imagen 9. Tramo 3 canal que conecta tubo con Box Culvert 2 existente. 14
Imagen 10 Vista aérea box Culvert existente 2 15
Imagen 11 Vista terrestre Box Culvert existente 2 15
Imagen 12 Vista aérea box culvert existente 3 16
Imagen 13 Vista terrestre Box Culvert existente 3 16
Imagen 14 Vista aérea tramo final canal natural 17
Imagen 15 Vista terrestre tramo final canal natural 17
Imagen 16. Esquema diseño hidráulico proyectado. 40

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto "AMPLIACIÓN DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ARAUQUITA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA" es la canalización del drenaje natural en su paso por el casco urbano del municipio de Arauquita, en el departamento de Arauquita.

Para la determinación de las curvas de intensidad - Frecuencia – Duración, calculadas con base a las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológico del IDEAM ARAUQUITA identificada con el código 37050010

Para los parámetros hidrológicos e hidráulicos necesarios se tuvieron en cuenta los establecido por la Resolución 0330 de junio de 2017, 0799 de 2021 y 0908 de 2021, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, así como las condiciones climatológicas del municipio de Arauquita.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

2. CONSIDERACIONES GENERALES

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto consiste en la canalización del drenaje natural, garantizando así un manejo adecuado del cuerpo hídrico en su paso por el casco urbano del municipio de Arauquita.

De acuerdo al RAS los sistemas de recolección y evaluación de aguas lluvias pueden ser proyectados y construidos para:

a. Permitir una rápida evacuación de la escorrentía pluvial de las vías públicas.
b. Evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas.
c. Evitar la invasión de aguas pluviales a propiedades públicas y privadas.
d. Evitar la acumulación de aguas en vías de tránsito.
e. Evitar la paralización del tráfico vehicular y peatonal durante un evento fuerte de precipitación.
f. Evitar las conexiones erradas del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.
g. Mitigar efectos nocivos a cuerpos de agua receptores por contaminación de escorrentía pluvial urbana.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el casco urbano del municipio de Arauquita, departamento de Arauca, se presenta una problemática asociada a la deficiente conducción y remanso de las aguas de escorrentía superficial que se generan durante los eventos de precipitación. Esta escorrentía proviene principalmente de la parte norte y occidental del casco urbano y drena hacia la zona ubicada frente al terminal de transporte municipal, donde se han identificado constantes episodios de encharcamiento e inundación que afectan la movilidad, las actividades comerciales y condiciones de vida de los residentes aledaños.

2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO Y ALCANCE

Durante las visitas técnicas realizadas al área de influencia y el análisis de información secundaria obtenida del Plan Maestro Pluvial del municipio de Arauquita, se evidenció que la zona ubicada frente al terminal de transporte presenta deficiencias en la capacidad hidráulica de las estructuras existentes para conducir adecuadamente las aguas de escorrentía superficial generadas durante los eventos de precipitación.

Las estructuras actuales, conformadas por tramos de canal natural, alcantarillas y Box Culvert, presentan condiciones de desgaste, sedimentación y colmatación que reducen significativamente su eficiencia hidráulica y su capacidad de transporte. Estas condiciones, sumadas a una pendiente limitada y a la falta de un sistema de canalización continua, generan represamientos y desbordamientos que ocasionan inundaciones frecuentes, afectando la movilidad, las actividades comerciales y la seguridad de los habitantes del sector.

En este contexto, se hace necesaria la construcción de un canal y el reemplazo de las estructuras existentes por nuevas estructuras de paso de vía, que garanticen el adecuado drenaje de la escorrentía y permitan el tránsito seguro y eficiente del flujo pluvial.

2.4 ACCIONES LEGALES

El diseñador conoce todas las leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de recolección y evacuación de aguas pluviales y de sus componentes en particular.

3. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ACTUAL

El diagnóstico hidráulico del sector se elaboró a partir de la información recolectada durante las visitas técnicas de campo, los planos y estudios contenidos en el Plan Maestro Pluvial del municipio de Arauquita, y la topografía detallada del área de intervención, la cual fue suministrada previamente al inicio del desarrollo del diseño.

Con base en esta información, se determinó que el sistema de drenaje existente en la zona del terminal de transporte está conformado por un conjunto de estructuras tipo alcantarillas y Box Culvert dispuestas de manera sucesiva, complementadas con tramos de canal natural sin revestimiento que actúan como conexión entre ellas.

Para iniciar, en el tramo 1 la problemática se hace visible antes de la primera estructura existente, donde se reportan constantes encharcamientos e inundaciones durante y después de las precipitaciones, este punto se ubica al norte del terminal, pasando la avenida principal.

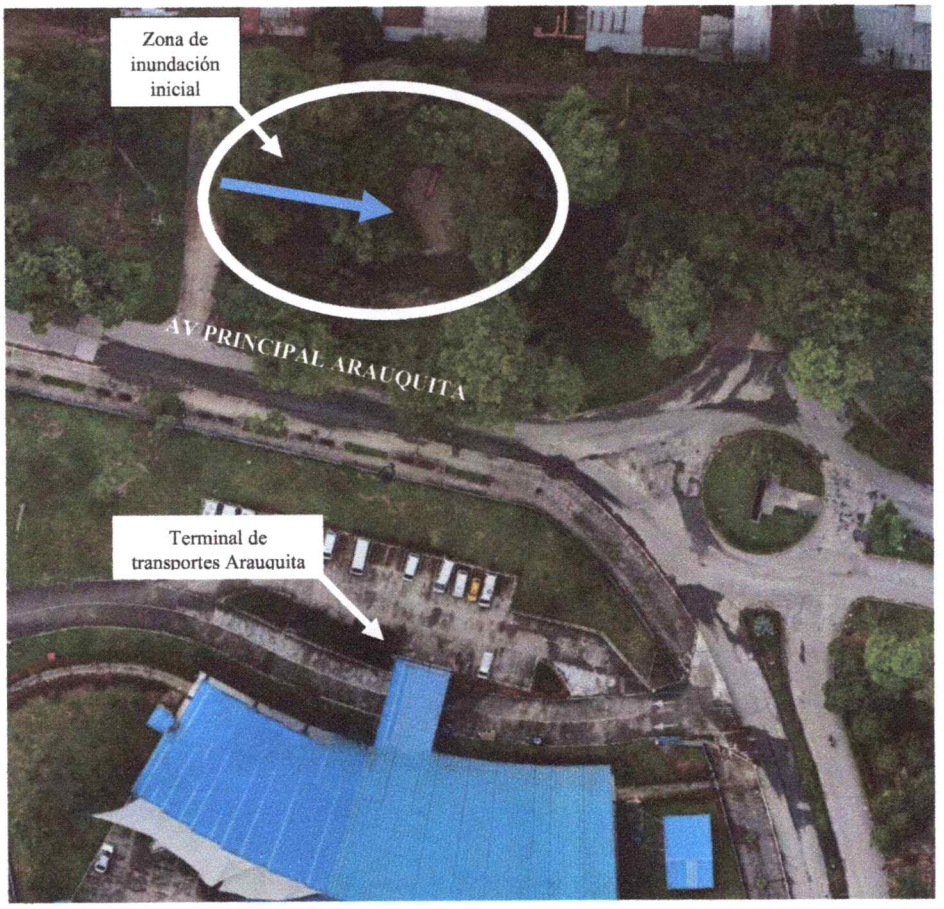

Imagen 1 Vista aérea zona de inundación inicial

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

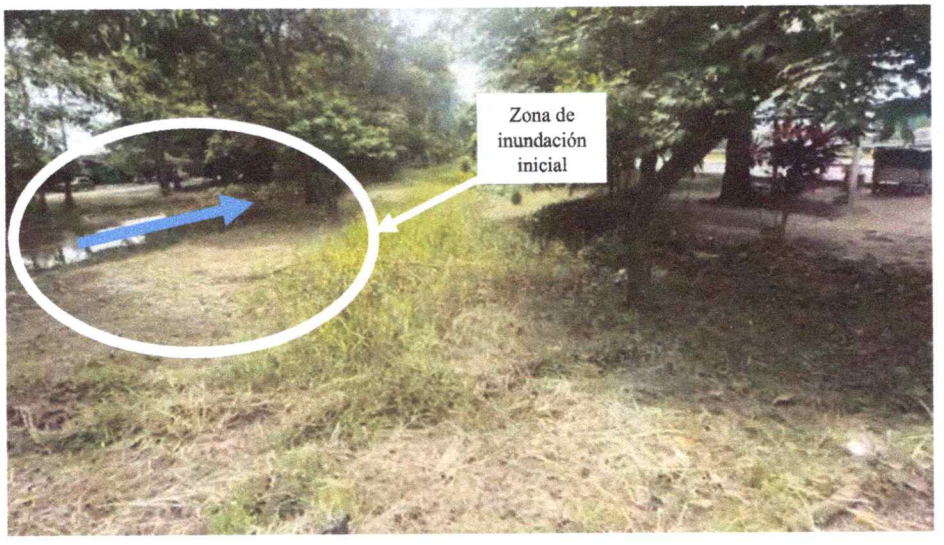

Imagen 2 Vista terrestre zona de inundación inicial

La primera estructura del sistema de drenaje actual se localiza en la salida norte de la rotonda del terminal, en sentido occidente–oriente, y tiene la función de captar y conducir el flujo pluvial que se concentra en la zona inicial.

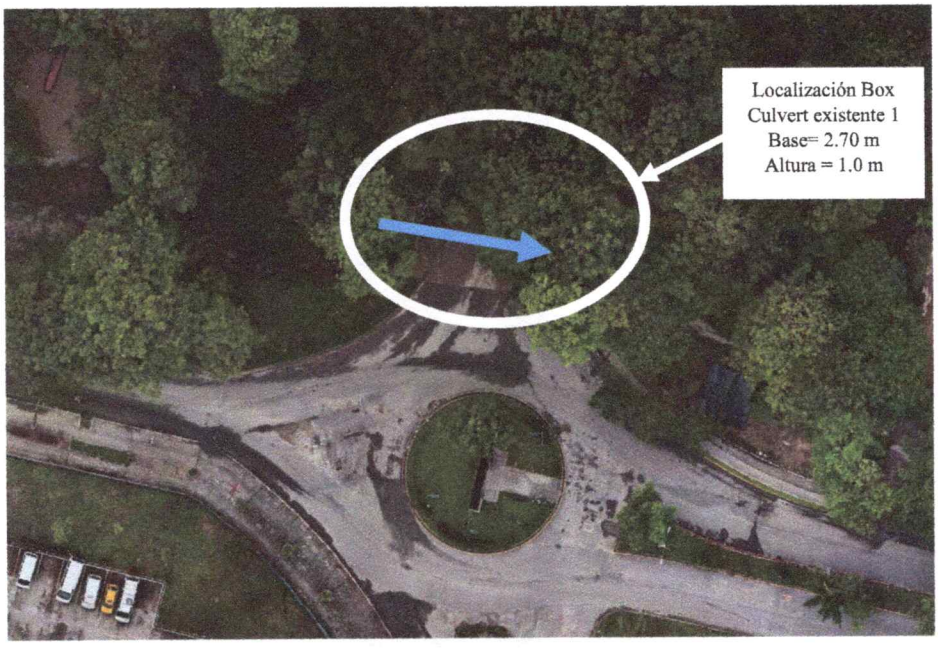

Imagen 3 Vista aérea Box Culvert existente 1.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



Imagen 4. Box Culvert existente 1.



Imagen 5 Vista terrestre Box Culvert existente 1.

Esta estructura actualmente se encuentra colmatada por presencia de sedimentos, por lo que cuando llueve, la estructura no posee capacidad hidráulica y la escorrentía superficial proveniente de la zona

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

norte y occidente del casco urbano se represa en la zona inicial, dando como resultado inundaciones que generan cada vez más inconvenientes.

A partir del Box Culvert 1, inicia el tramo 2, donde el caudal circula por un canal natural conformado en terreno sin revestir, que transporta el flujo hasta una segunda estructura: un tubo que pasa debajo de una vía de acceso hacia una edificación no identificada.

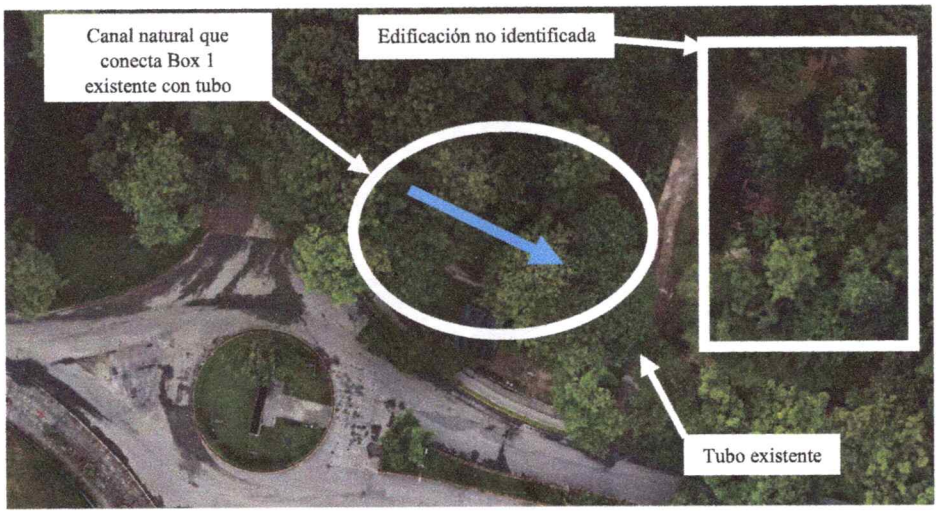

Imagen 6 Vista aérea tramo 2



Imagen 7 Vista terrestre tramo 2

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



Imagen 8 Vista terrestre paso de vía en tubo existente.

Posteriormente, en el tramo 3 las aguas descargadas de este tubo se dirigen hacia una tercera estructura a través de un canal natural, el Box Culvert existente 2, el cual cruza la vía principal de Arauquita en sentido norte–sur y descarga en un canal natural de aproximadamente 100 metros de longitud. Adicionalmente, de acuerdo con la información recolectada, se identificó la presencia de un Box culvert existente 3, que proviene de la zona occidental y atraviesa el área donde se encuentra el terminal de transporte, en sentido occidente–oriente. Esta estructura descarga en el mismo tramo final de canal natural, en el mismo punto donde descarga el Box Culvert existente 2 .

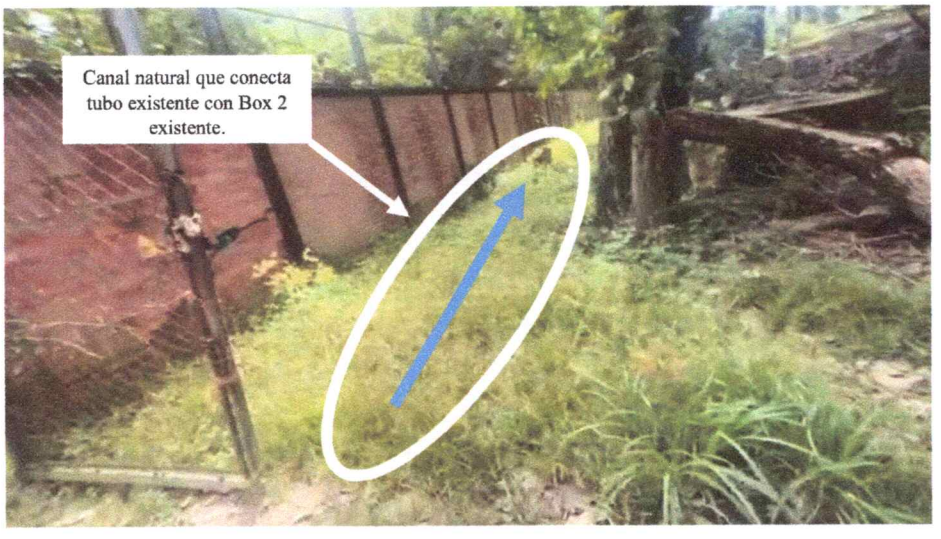

Imagen 9. Tramo 3 canal que conecta tubo con Box Culvert 2 existente.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

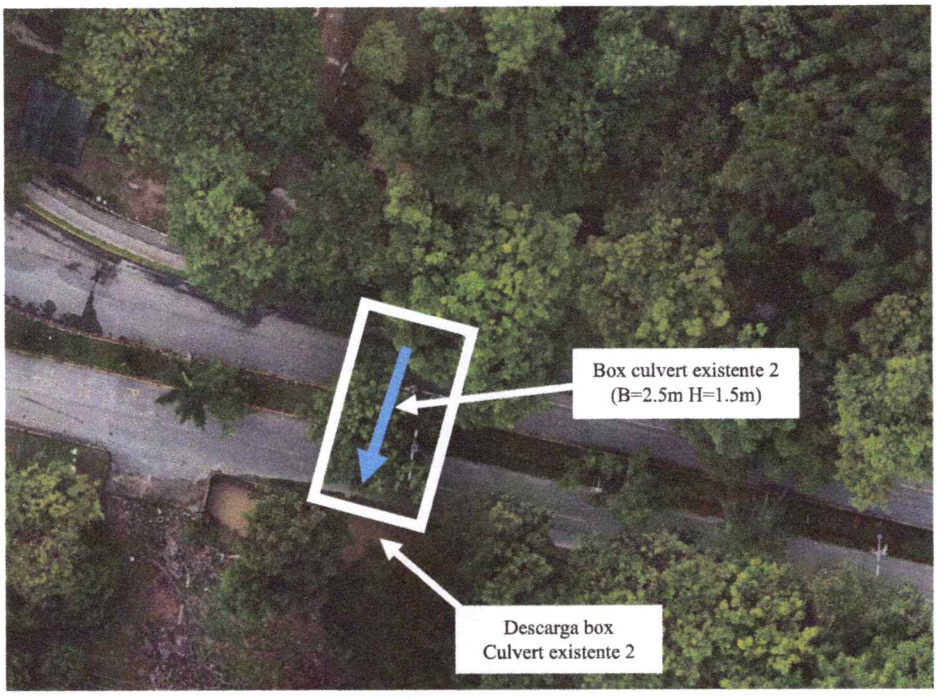

Imagen 10 Vista aérea box Culvert existente 2



Imagen 11 Vista terrestre Box Culvert existente 2

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



Imagen 12 Vista aérea box culvert existente 3



Imagen 13 Vista terrestre Box Culvert existente 3

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

Por último, las 2 estructuras de Box convergen en un canal natural de aproximadamente 100 metros, lo que incrementa el volumen de escorrentía que debe ser evacuado por dicho tramo. Este canal fluye en sentido occidente–oriente y pasa por debajo de 2 estructuras existentes, y posteriormente continúa su flujo en sentido norte-sur.



Imagen 14 Vista aérea tramo final canal natural



Imagen 15 Vista terrestre tramo final canal natural

El conjunto de estas estructuras descritas presenta deficiencias tanto en su capacidad hidráulica como en su estado físico, observándose signos de desgaste, sedimentación y colmatación en varios tramos, así como una geometría y pendiente que no favorecen el tránsito eficiente del flujo. Como consecuencia, durante los eventos de lluvia de mediana y alta intensidad se produce el represamiento

y desbordamiento del flujo en el sector frente al terminal, generando afectaciones a la movilidad, a las actividades comerciales y a las viviendas aledañas.

Estas condiciones evidencian la necesidad de implementar una solución hidráulica integral que permita mejorar la conducción de las aguas de escorrentía, optimizar la capacidad del sistema pluvial y mitigar al máximo las inundaciones que actualmente se presentan en el área de estudio.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

4. GENERALIDADES

El municipio de Arauquita está ubicado en la República de Colombia sobre la margen derecha del Río Arauca. en el sector norte y centro del departamento de Arauca y tiene una extensión territorial de aproximadamente de 3.281,23 km²

4.1 RESEÑA HISTÓRICA

Se fundó en el año de 1.675 con el nombre de San Lorenzo, luego el centro poblado se desplazó cinco kilómetros ribera abajo y se denominó El Guadual; posteriormente derivó su nombre del memorable diminutivo de ARAUCA.

Antes de la llegada de los españoles al municipio de Arauquita, el territorio se hallaba habitado por diferentes grupos aborígenes. El poblamiento de Arauquita tiene diversos orígenes destacándose los siguientes momentos históricos:

Poblamiento nativo o indígena: siendo los primeros los Macaguanes y Tames, aunque existieron muchas tribus, pero gran parte fueron extinguidos, sobreviviendo en jurisdicción de Arauquita el grupo Étnico de los Guahibos con una población muy reducida y cuya dedicación es básicamente la caza, pesca y alguna agricultura incipiente en métodos tradicionales. Colonización española y venezolana: La primera iniciada en los años de 1675 cuando se fundó la población de San Lorenzo que luego se llamó Arauquita y la segunda iniciada en 1820 donde la población llegada era principalmente colonos venezolanos que iniciaron la agricultura.

Colonización Dirigida: Este proceso fue auspiciado por el gobierno nacional, dentro de la política de poblamiento de vastas regiones de los llanos orientales. En 1962 el INCORA con la adjudicación de tierras baldías propició una migración abundante de familias hacia los terrenos de Arauquita, fundándose caseríos como El Oasis, Aguachica, El troncal, La Esmeralda, Campamento.

ARAUQUITA fue erigido como municipio en 1.943 luego se convirtió en corregimiento y perteneció al municipio de Tame como inspección de policía hasta 1.971, año en el que fue elevado nuevamente al rango de municipio mediante el Decreto No. 1447.

4.2 GEOGRAFÍA

Descripción Física:

El Municipio de Arauquita está ubicado en la República de Colombia sobre la margen derecha del Río Arauca. en el sector norte y centro del departamento de Arauca y tiene una extensión territorial de aproximadamente de 3.281,23 km2

El Municipio de Arauquita pertenece a la cuenca del río Orinoco. Cuenta con abundantes cursos de agua, que nacen en su mayoría en la Cordillera Oriental y corren en dirección Este a través de un terreno plano, lo que origina en su trayecto numerosos ríos y caños secundarios. La gran riqueza hídrica representada lagunas y humedales, así como en numerosos ríos, caños y quebradas que bañan el municipio. Entre los principales ríos o caños están el río Arauca, el Lipa, el Ele y el Río Caranal;

estas arterias fluviales conforman las principales cuencas y subcuencas presentes en el municipio subdivididas así:

La Subcuenca del río Arauca, localizada al norte del municipio a al cual drenan algunos caños de moderada importancia como son: El Caño Salibón o Jujú, El Curitero, el Troncal, Brazo Bayonero, Brazo Gaviotas y Caño Agua limón, entre los principales, otros de menor importancia el Terciario y el Matapalito.

El municipio de Arauquita por su localización estratégica, es el epicentro de la vía alterna a la Ruta de los Libertadores que comunica el mar Caribe con el mar Pacífico desde Caracas Venezuela hasta el Puerto de Buenaventura; en su contexto territorial es conocido como el más grande dentro del Departamento de Arauca.

Límites del Municipio

Oriente: Con el Municipio de Arauca fisiográficamente en la región de los llanos orientales
Occidente: Con el Municipio de Saravena en una extensión de 25 kilómetros aproximadamente
Norte: En toda su extensión con la República de Venezuela siendo limite natural el río Arauca
Sur: Con el Municipio de Puerto Rondón.
Suroccidente: Con los municipios de Fortul y Tame.

4.3 ECONOMÍA

Ganadería:

El sistema de explotación ganadera predominante es el semi-extensivo de ciclo completo con cría, levante y ceba, observándose la tendencia a incrementarse la ganadería de doble propósito, con cruces de Cebú con Holstein, Pardo suizo y Normando. Las fincas corresponden a un 85% a medianos y pequeños productores, con extensiones promedio de 40 Hectáreas

Agricultura:

Fundada en 1.675 por Jesuitas misioneros, con sayales por armadura fomentaron la agricultura en San Lorenzo, e hicieron su primer conglomerado indígena, es así como Arauquita, antiguamente llamada "El Guadual", se convertiría en la principal despensa agrícola de la capital Araucana.

El Municipio de Arauquita deriva su economía del cultivo del plátano con 6.000 Hectáreas; cacao con 3.200 Hectáreas y producción de 1.950 toneladas/año de caña panelera y cultivos transitorios como yuca, maíz, Caraota y arroz, siendo estas actividades la base económica del municipio.

Industria Manufacturera, Comercio y Servicios:

La industria responde a necesidades inherentes al desarrollo de la vida diaria de los habitantes del casco urbano como son: Talleres de ornamentación, mecánica, Carpintería, Industria Chocolatera, de Confecciones, de la Construcción, bloqueras, procesadores de Cacao, molinos de arroz, trapiches y el comercio de combustibles provenientes de Venezuela.

Extracción de Hidrocarburos:

En Arauquita se encuentra ubicado el complejo petrolero de Caño Limón, en donde se explotan hidrocarburos por parte de la Asociación Cravo Norte conformada por la Occidental de Colombia. Hoy, esta actividad le representa al municipio unos ingresos por regalías de $ 5.000 millones de pesos promedio anual con un comportamiento creciente por nuevas exploraciones.

La explotación de hidrocarburos ha representado para el municipio el renglón de mayor relevancia dentro de la actividad económica, luego que genera la mayoría de empleos a la población, incrementando el ingreso per cápita de sus habitantes y mejoras en la infraestructura vial, apoyo a saneamiento básico, educación y salud del municipio específicamente en la zona de influencia.

Sitios de Interés

Laguna de la Vieja. Monumento a los lanceros. Plazoleta de encuentro Bolívar y Santander. Rio Tame. Rio Gaulabao. Estadero la Chamiza. Estadero las Cachamas. Estadero el mirador.

4.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Aéreas:

Directamente no tiene acceso aéreo nuestro municipio. Pero por medio del aeropuerto de la ciudad de Arauca y del municipio de Saravena, podemos llegar desde cualquier parte del país, por este medio de transporte.

Terrestres:

Partiendo desde la capital existen tres opciones para acceder al municipio. En primer lugar, encontramos la vía Bogotá – Bucaramanga – Pamplona – Saravena- Arauquita por la vía de la soberanía. Otra opción es Bogotá – Sogamoso- Socha – Sácama – Tame – Saravena – Arauquita, y una última opción es Bogotá – Villavicencio – Yopal – Corozal – Tame – Saravena – Arauca por la vía El corredor Fronterizo. (Información Suministrada por el topógrafo Luis Mauricio Ruiz Pedraza).

Fluviales:

Nuestra región cuanta con la vía fluvial del rio Arauca, y el brazo Bayonero, que nos dan facilidades para transportarnos a los municipios de Puerto Nariño, la vereda San Lorenzo, y de Arauquita al vecino país de Venezuela y a los centros poblados del Troncal, la Pesquera, La Reinera y el Centro de Producción o Área Industrial de Caño Limón. (Información Suministrada por el topógrafo Luis Mauricio Ruiz Pedraza).

4.5 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

A continuación, se presentan las condiciones hidrometeorológicas a nivel de valores medios mensuales de las series registradas de las diferentes estaciones que se encuentran ubicadas en inmediaciones del municipio de Arauquita. En particular se describen las siguientes variables HIDROCLIMATOLÓGICOS: precipitación media mensual, evaporación, temperatura y humedad relativa.

Tabla 1. Estaciones climatológicas y pluviométricas del IDEAM

NOMBRE	CÓDIGO	TIPO	ESTADO	LATITUD/ LONGITUD	ALTITUD
SARAVENA	37045010	Climatológica Ordinaria	Suspendida	6.946 -71.890	148
MORICHAL	36030030	Pluviométrica	Activa	6.570 -71.707	300
ARAUQUITA	37050010	Pluviométrica	Activa	7.037 -71.419	100
AEROPUERTO SANTIAGO PÉREZ	37055010	Sinóptica Principal	Activa	7.069 -70.73	128

Fuente: IDEAM.

Los datos crudos de la estación Arauquita, la cual fue la utilizada para el desarrollo del proyecto se presentan en el Anexo 1.

4.5.1 Precipitación

Con el fin de contextualizar la precipitación en la zona de estudio se hizo uso de las estaciones Saravena, Morichal, Aeropuerto Santiago Pérez y Arauquita. En las seis estaciones se nota un régimen monomodal con meses húmedos entre abril y septiembre. Por otra parte, se observa que los meses más secos corresponden al período entre diciembre y marzo.

El comportamiento de las cuatro estaciones muestra el mismo ciclo anual unimodal con mayores precipitaciones para los meses de Mayo a Julio

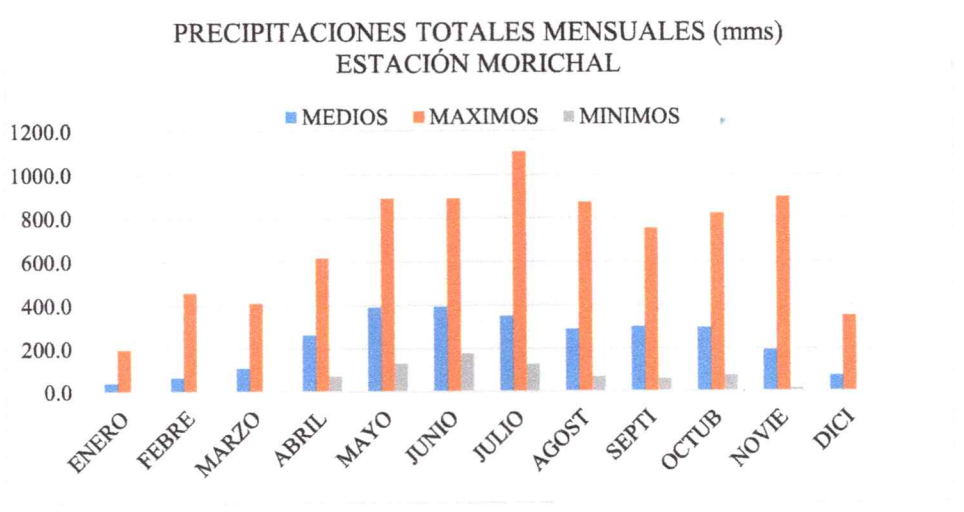

Figura 1. Valores de precipitación media mensual- Estación Morichal

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

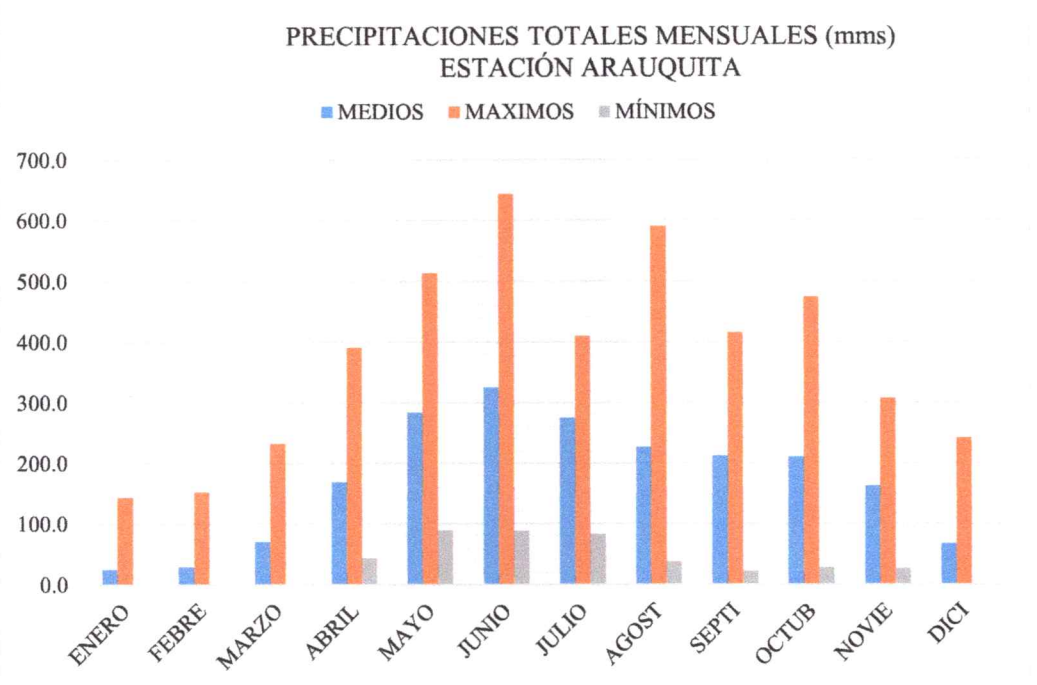

Figura 2. Valores de precipitación media mensual- Estación Arauquita

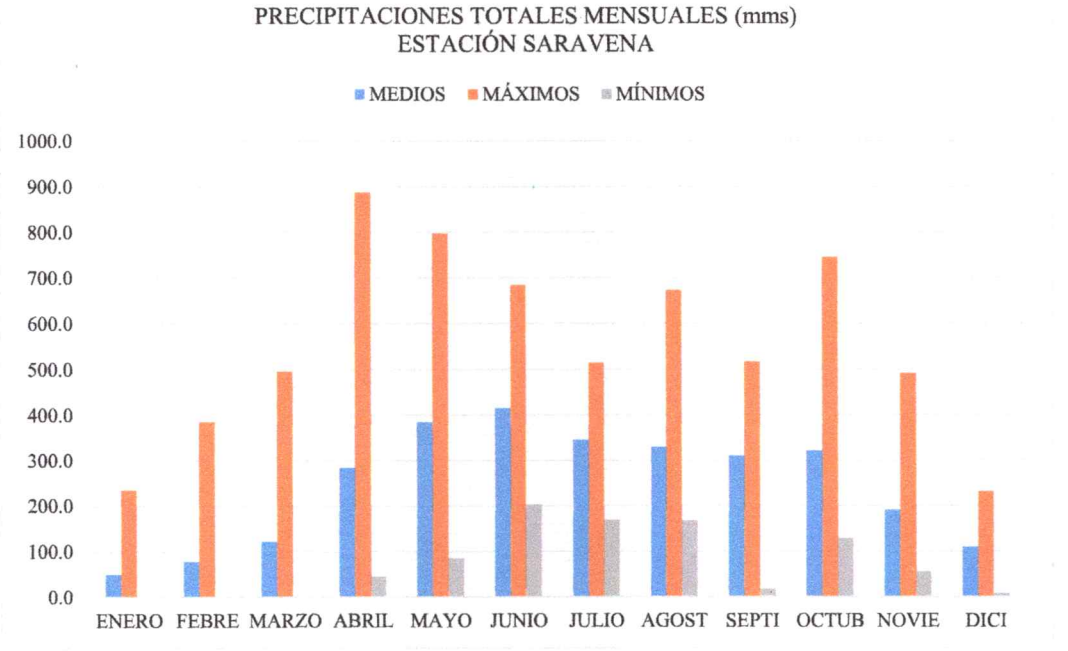

Figura 3. Valores de precipitación media mensual- Estación Saravena

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

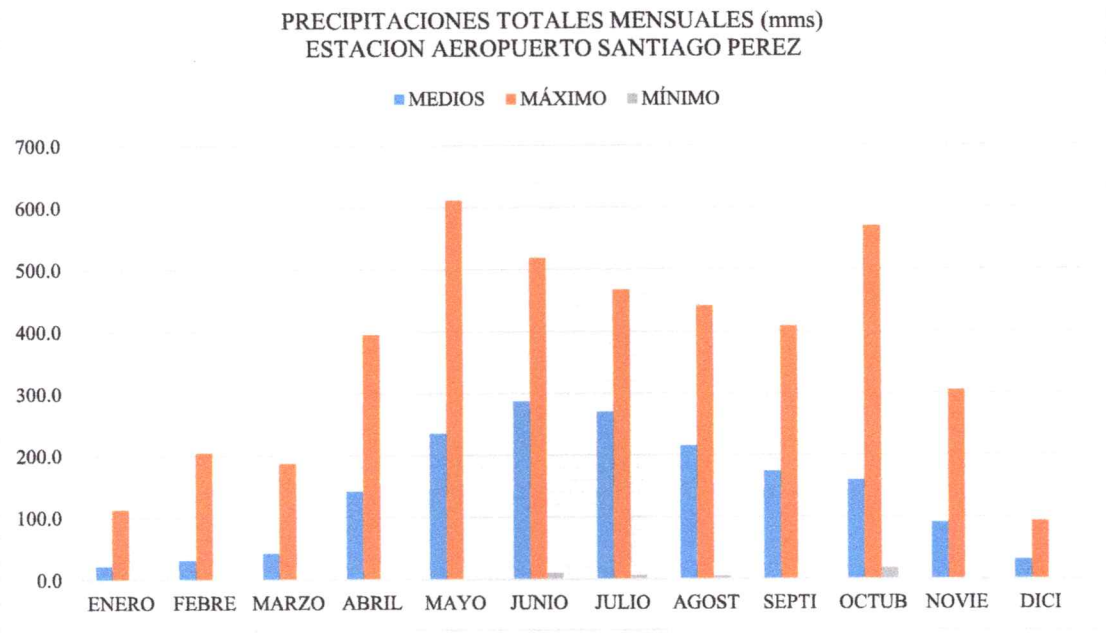

Figura 4. Valores de precipitación media mensual- Estación Aeropuerto Santiago Pérez

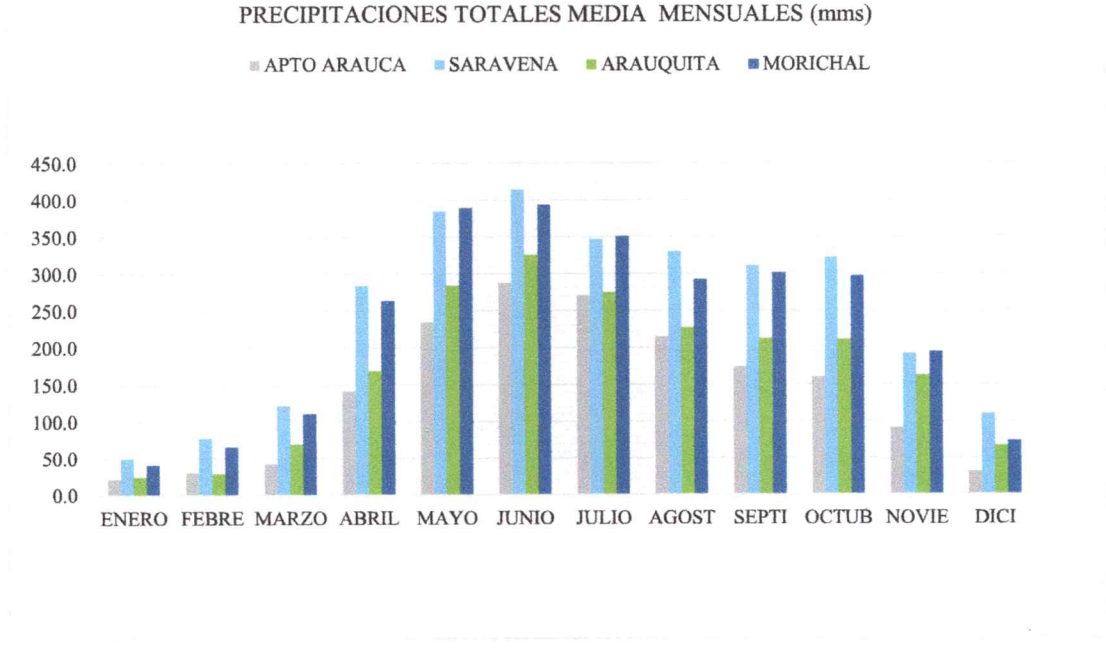

Figura 5. Valores Totales de precipitación media mensual

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

4.5.2 Temperatura Mensual

Las estaciones con registros de temperatura más cercanas al sector son Saravena, Apto Santiago Pérez y Tunebía. Se registran temperaturas medias de 25.5°C en la estación Saravena, 26.8 °C en la estación Apto Arauca y 24.2°C en la estación Tunebía.

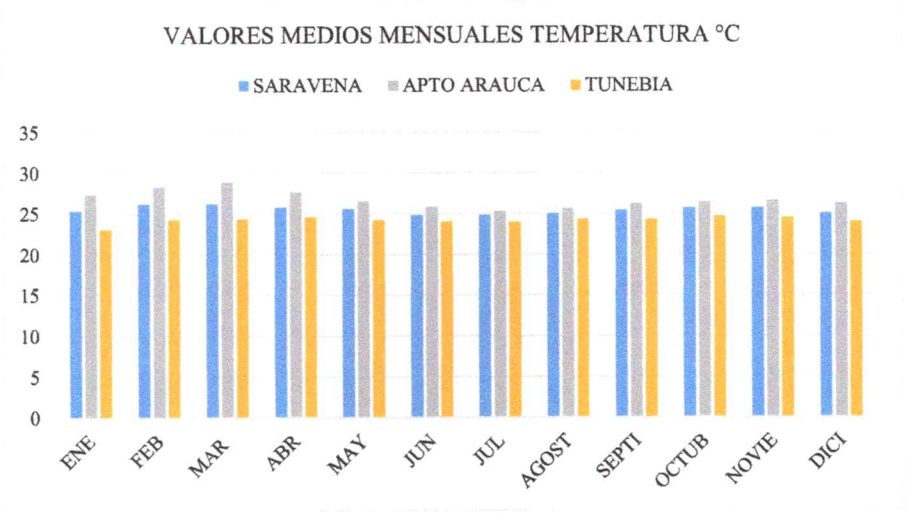

Figura 6. Valores medios mensuales de temperatura

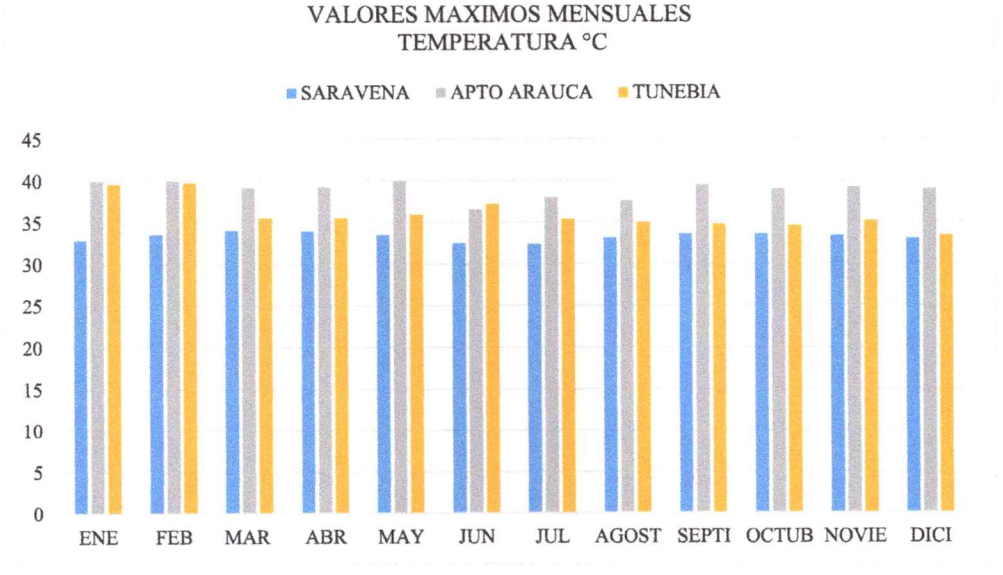

Figura 7. Valores máximos mensuales de temperatura

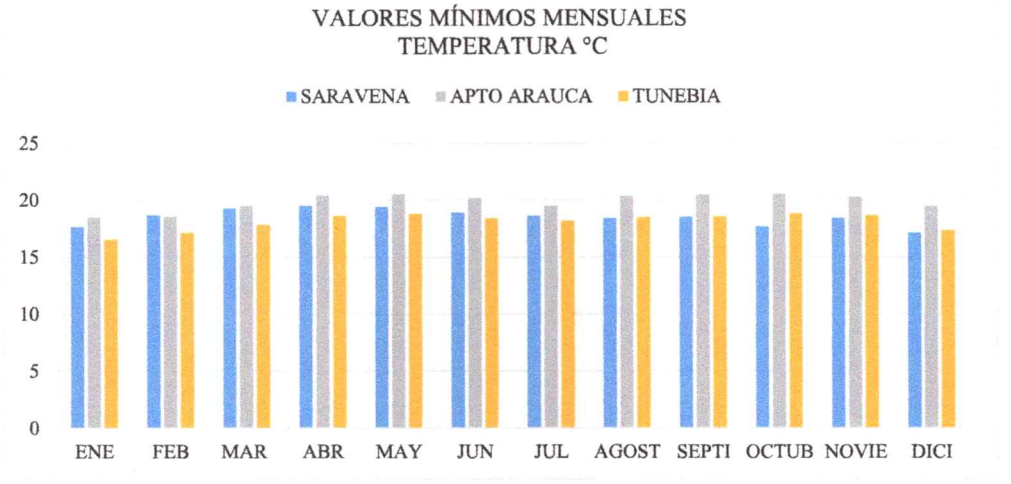

Figura 8. Valores mínimos mensuales de temperatura

4.5.3 Evaporación Media Mensual

Las estaciones con registros de evaporación más cercanas son Tubería, Saravena y Aeropuerto Santiago Pérez.

Se nota que los meses de mayor evaporación corresponden al período comprendido entre enero y marzo en la estación Apto Santiago Pérez y los períodos comprendidos septiembre - octubre en la estación Tunebía y Saravena.

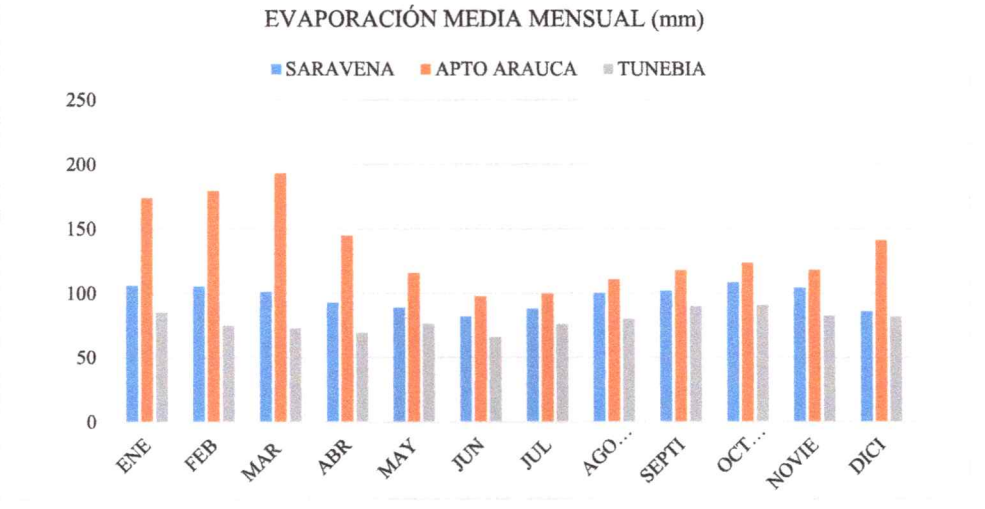

Figura 9. Valores evaporación media mensual

4.5.4 Humedad Relativa

Las estaciones con registros de humedad relativa más cercanas al sector son Saravena, Tunebía, Apto Arauca y Tame. Registran valores medios de 84% en la estación Saravena y 83% en la estación Tame, 79% en la estación Apto Arauca y 84% en la estación Tunebía.

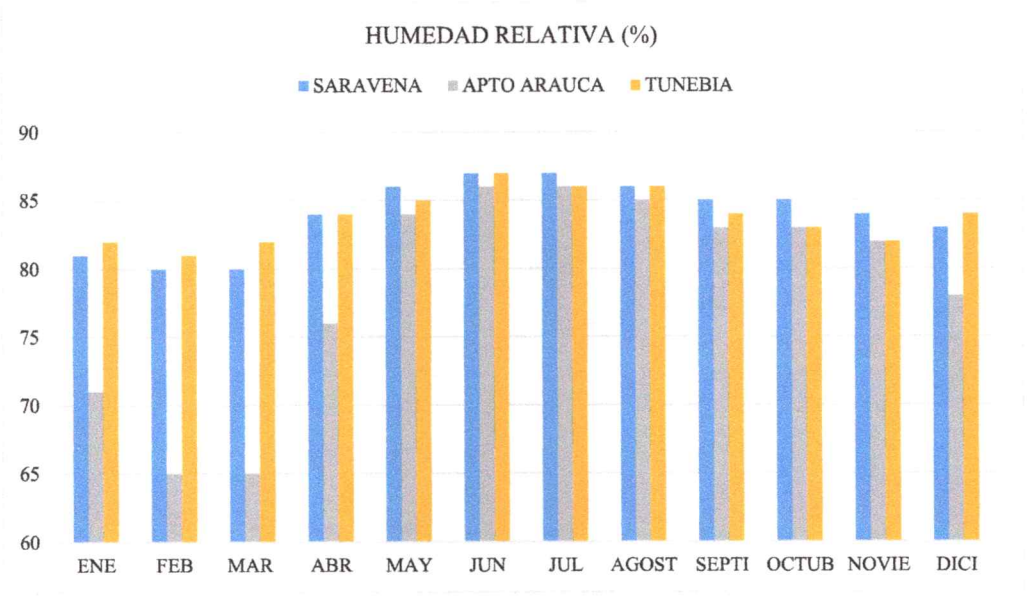

Figura 10. Valores medios de humedad relativa

5. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para lograr un buen diseño deben tomarse en cuenta todas las variables que puedan intervenir en la determinación de un gasto de aguas lluvias acumulándose y que pueden crear inconvenientes en la comunidad y en la infraestructura de servicios existente o proyectada, sin embargo no deja de reconocerse que ello resulta difícil de evaluar y que aún con la mejor información posible, existirán criterios que primarán en el diseño de los proyectos referidos a un rango de probabilidades de ocurrencia de daños. En general se pueden considerar los siguientes factores importantes, para efectos de diseño de un sistema de recolección de aguas lluvias.

5.1.1 Tipo De Cobertura

El tipo de superficie, sus pendientes, así como los porcentajes de construcción son factores que influyen sobre el grado de impermeabilidad que facilita o retarda el escurrimiento de las aguas lluvias que puedan concentrarse en un punto.

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía.

Para áreas de drenaje que incluyan subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

5.1.2 Intensidad – Frecuencia – Duración de las Lluvias

Las características de las lluvias a considerar en el diseño dependen del grado de protección que se desee, lo cual, por razones económicas, se basa en la importancia del sector, en la importancia de los canales de drenaje y las vías, y los posibles daños que se puedan causar por no controlar las mismas.

Las curvas Intensidad - Frecuencia - Duración de las lluvias 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 períodos de retorno específicos.

De acuerdo a la resolución 0330 de junio de 2017[1] "*se deben seleccionar las curvas IDF de cada localidad o región en particular y verificar su validez. Si no existen o no contemplan datos del último quinquenio, se deben obtener a partir de información pluviográfica de la zona, incluyendo los datos más recientes, para derivar las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos*".

[1] (Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

La intensidad de una lluvia se define como el volumen de agua que se precipita por unidad de tiempo y generalmente se expresa en mm/hr o lts/Ha/seg. Es conveniente recordar que 1 mm/hr = 2.78 lts/seg/ha. La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias corresponde a la intensidad media de la precipitación dada por las curvas IDF para el período de retorno de diseño definido con base en lo establecido literal 2 del artículo 135 de la resolución 0330 de junio del 2017.

La frecuencia es el inverso del periodo de Retorno.

5.1.3 Periodos De Retorno De Diseño

De acuerdo al literal 1 del artículo 135 de la resolución 0330 de junio del 2017, el periodo de retorno de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que en las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura. En ningún caso podrán ser menores que los valores mostrados en la tabla.

Tabla 2.Periodos de retorno de diseño

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

Debido al tamaño de la cuenca al ser menor a 1000 Ha, se tomará como periodo de retorno 50 años.

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magister en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

6. ESTUDIO HIDROLÓGICO

6.1 DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE DRENAJE

Para la delimitación de la zona de drenaje de la canalización proyectada en la zona oriental del casco urbano, se tomó como información base lo establecido en el Plan Maestro Pluvial del municipio de Arauquita, en donde se identificó que el drenaje objeto de estudio, presenta la descarga de dos sistemas pluviales, como se observa en la siguiente figura:

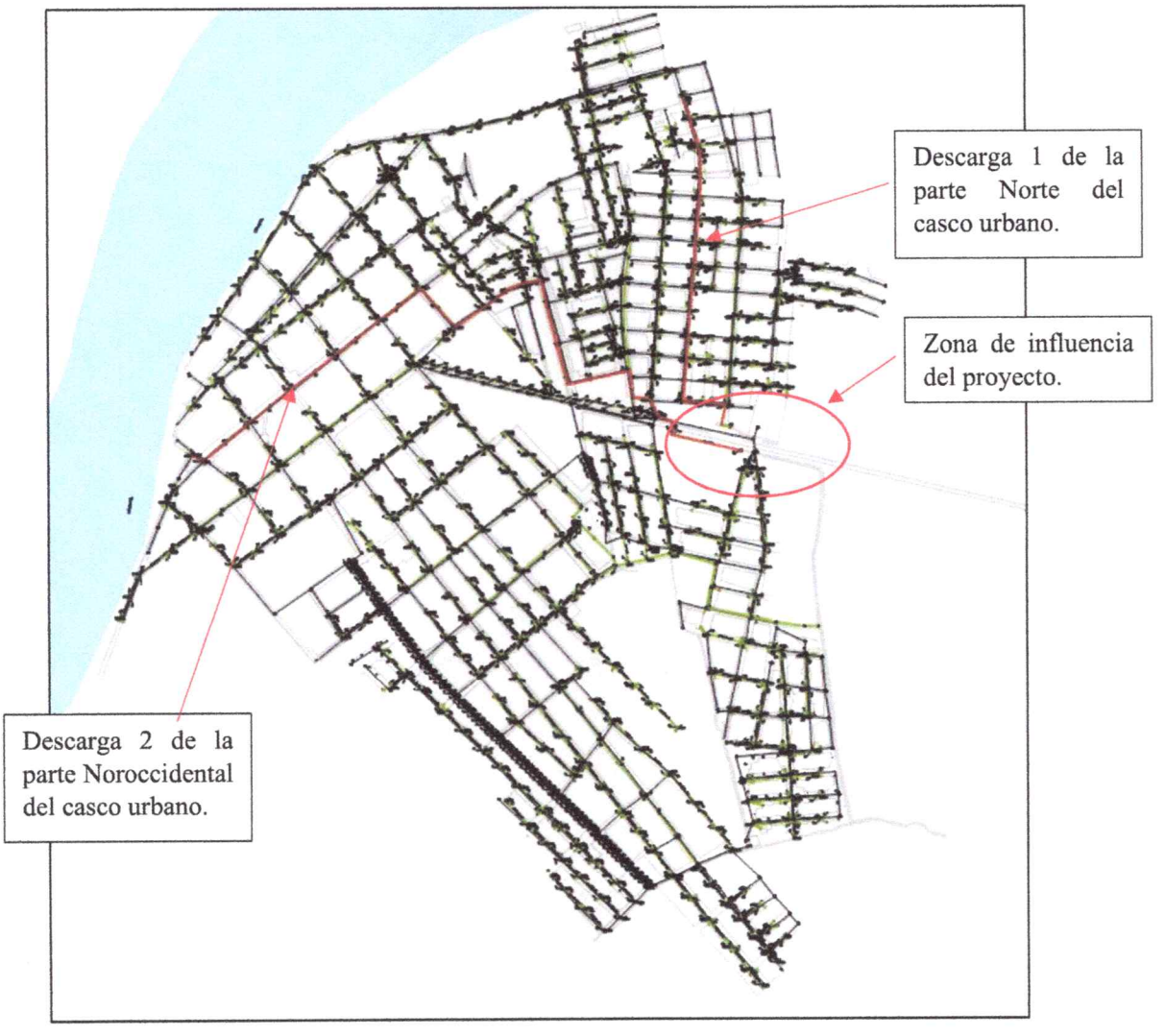

Figura 11. Plan Maestro Alcantarillado pluvial municipio de Arauquita.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

Tomando en cuenta lo anterior se identificaron las áreas de drenaje correspondientes a las dos descargas identificadas que llegan al drenaje de estudio y las propias de la canalización a proyectar:

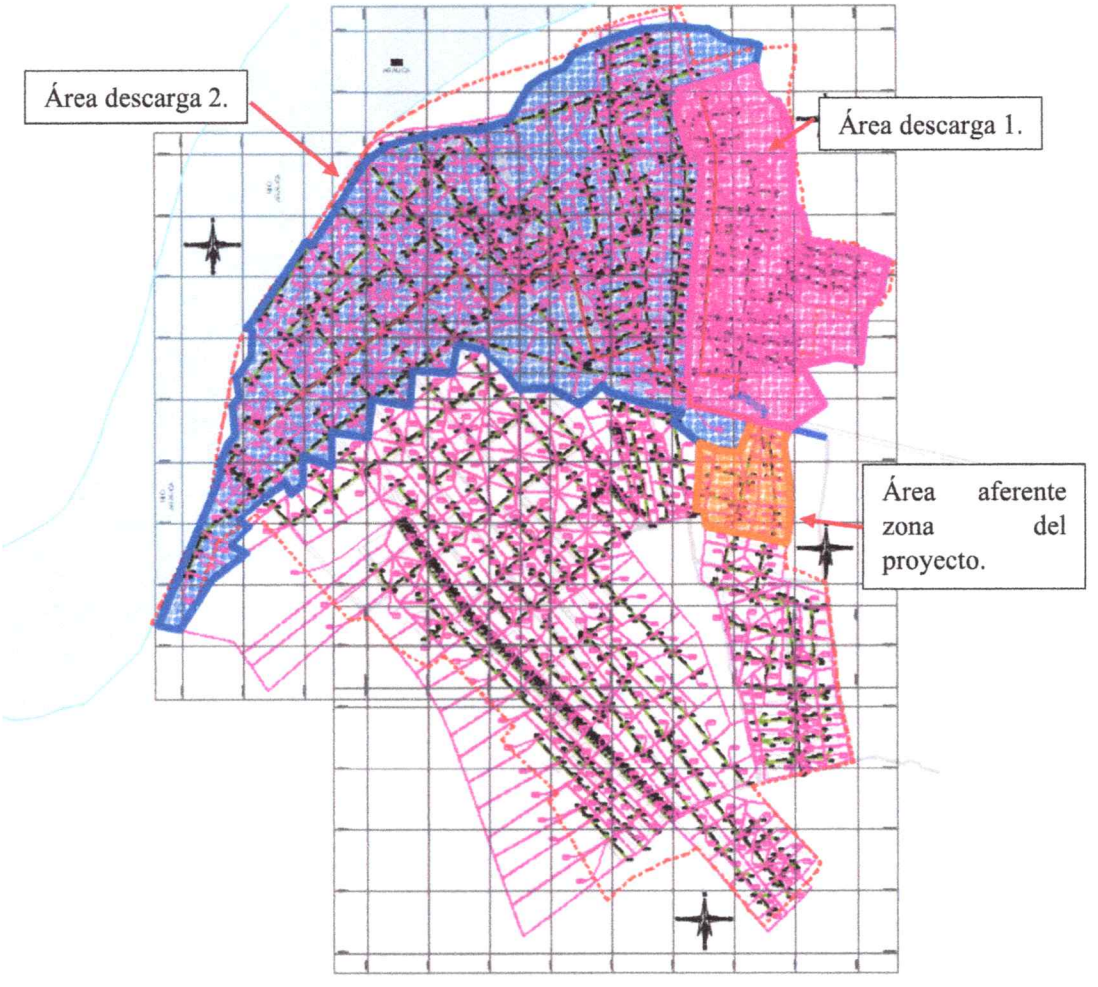

Figura 12. Áreas de drenaje zona de estudio.

Para el diseño se definen cuatro puntos de control definidos de la siguiente manera:

Tramo A - B: Capta las aguas de la zona norte del casco urbano (Descarga 1)

Tramo C – B: Capta las aguas de la zona noroccidental del casco urbano (Descarga 2)

Tramo B – C: conduce las aguas de la zona norte y noroccidental del casco urbano y del área propia en su paso por el área de influencia del proyecto.

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

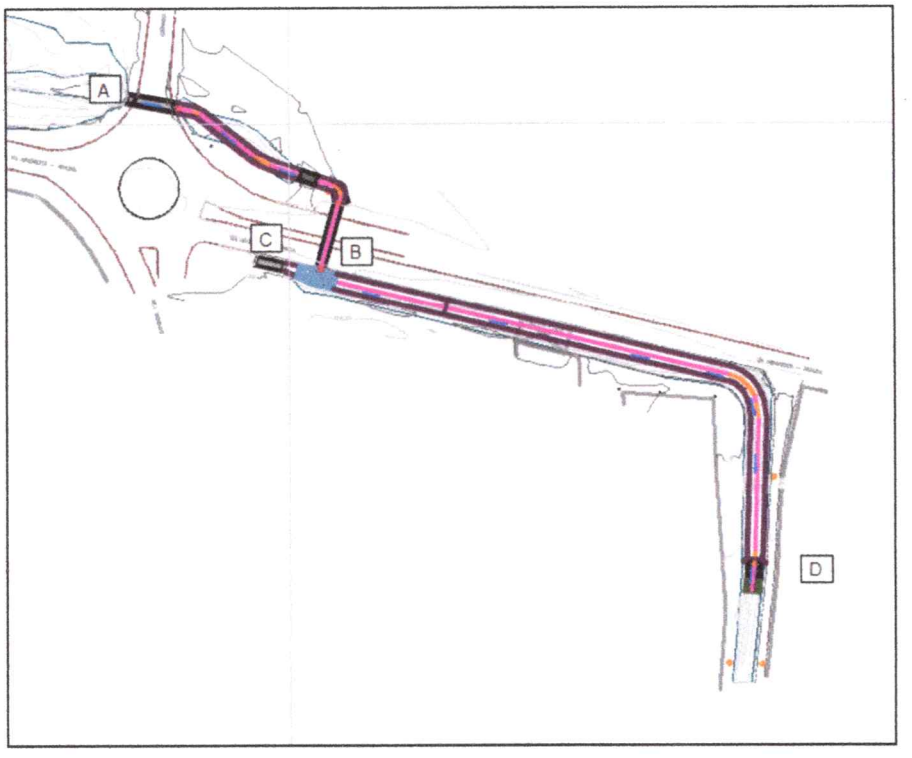

Figura 13. Definición puntos de control del proyecto.

Tabla 3. Áreas de drenaje canalización.

Tramo		Área Propia
De	A	m2
A	B	18.36
C	B	56.40
B	D	35.89

6.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

En la zona se cuenta con la estación meteorológica N° 37050010 del IDEAM ubicada en el municipio de Arauquita, los datos de esta estación ofrecen la suficiente confianza ya que es la estación más cercana a zona de estudio. Se empleó en el estudio la totalidad de los datos de precipitaciones con una base de datos de 52 años desde el año 1972 hasta el 2024 con el fin de que la muestra fuera lo más significativa posible. (Ver anexo 1).

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 urbanización Las Américas. Tel: 5946060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

Tabla 4. Información de la estación IDEAM

ESTACIONES DEL IDEAM						
NOMBRE	MUNICIPIO	CÓDIGO	AÑOS	ESTADO	LONGITUD	LATITUD
ARAUQUITA	ARAUQUITA	37050010	52	ACTIVA	-71.42	7.04

6.2.1 Prueba de Datos Dudosos Para Cada Estación.

Los datos dudosos (outlers), son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. La prueba realizada a los datos se presenta en el Anexo 2.

6.2.2 Prueba De Bondad De Ajuste De Kolmogorov Smirnov.

Esta prueba se utiliza para probar hipótesis acerca de la distribución de la población, de la cual se extrae una variable aleatoria. La hipótesis nula para la prueba de bondad de ajuste es que la distribución de la población es una distribución dada frente a la alternativa de que los datos no se ajustan a la distribución dada. Los resultados se observan en el Anexo 3.

6.2.3 Distribución De Probabilidad Con El Mejor Ajuste Para La Estación.

Una vez se realiza la prueba de bondad y se analiza la distribución de la población y se determina la que mejor se ajusta a los datos existentes con el fin de obtener los datos de precipitación. El resultado se observa en el Anexo 4.

6.2.4 Obtención De Las Curvas IDF Por El Método Simplificado

Teniendo en cuenta que no se tienen datos de caudales ni de precipitaciones máximas en 24 horas para este cuerpo hídrico, es necesario determinar los caudales mediante la utilización de curvas IDF, Las curvas IDF que se tendrán en cuenta en el presente estudio son realizadas por el método simplificado presentado en el manual de drenaje de INVIAS, basadas en registro de precipitaciones de la Estación 37050010 (ARAUQUITA), perteneciente al IDEAM.

La metodología simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográfica). En este estudio se dedujeron curvas intensidad-duración-frecuencia por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación.

La mejor correlación obtenida, sin embargo, fue la que se obtuvo con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas en una estación, y es la que se propone para los estudios, la expresión utilizada para determinar la intensidad está dada por:

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

Donde:

I: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
T: Periodo de retorno, en años.
M: precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual.
t: Duración de la lluvia en minutos

a,b,c,d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la figura 2.13 del manual de drenaje para carreteras de INVÍAS.

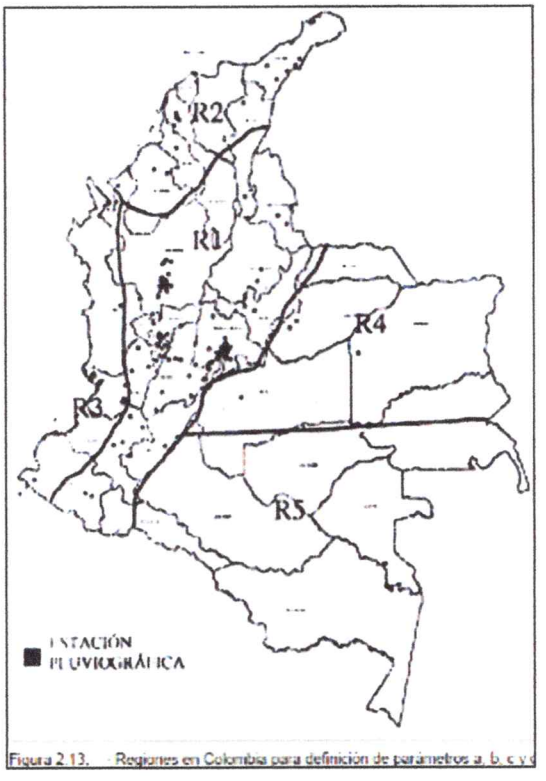

Figura 14. Regiones en Colombia para definición de parámetros a,b,c,d método simplificado para la obtención de curvas IDF

Fuente: Tomado del Manual de drenaje de carreteras-INVIAS

La zona de estudio se encuentra dentro de la región Orinoquia R4 por lo que los parámetros a, b, c, d, se definen en la siguiente tabla.

Tabla 5. Parámetros acordes a la región.

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Tomado del Manual de drenaje de carreteras-INVIAS

A continuación, se presentarán las curvas IDF los cálculos pueden observarse en el Anexo 5.

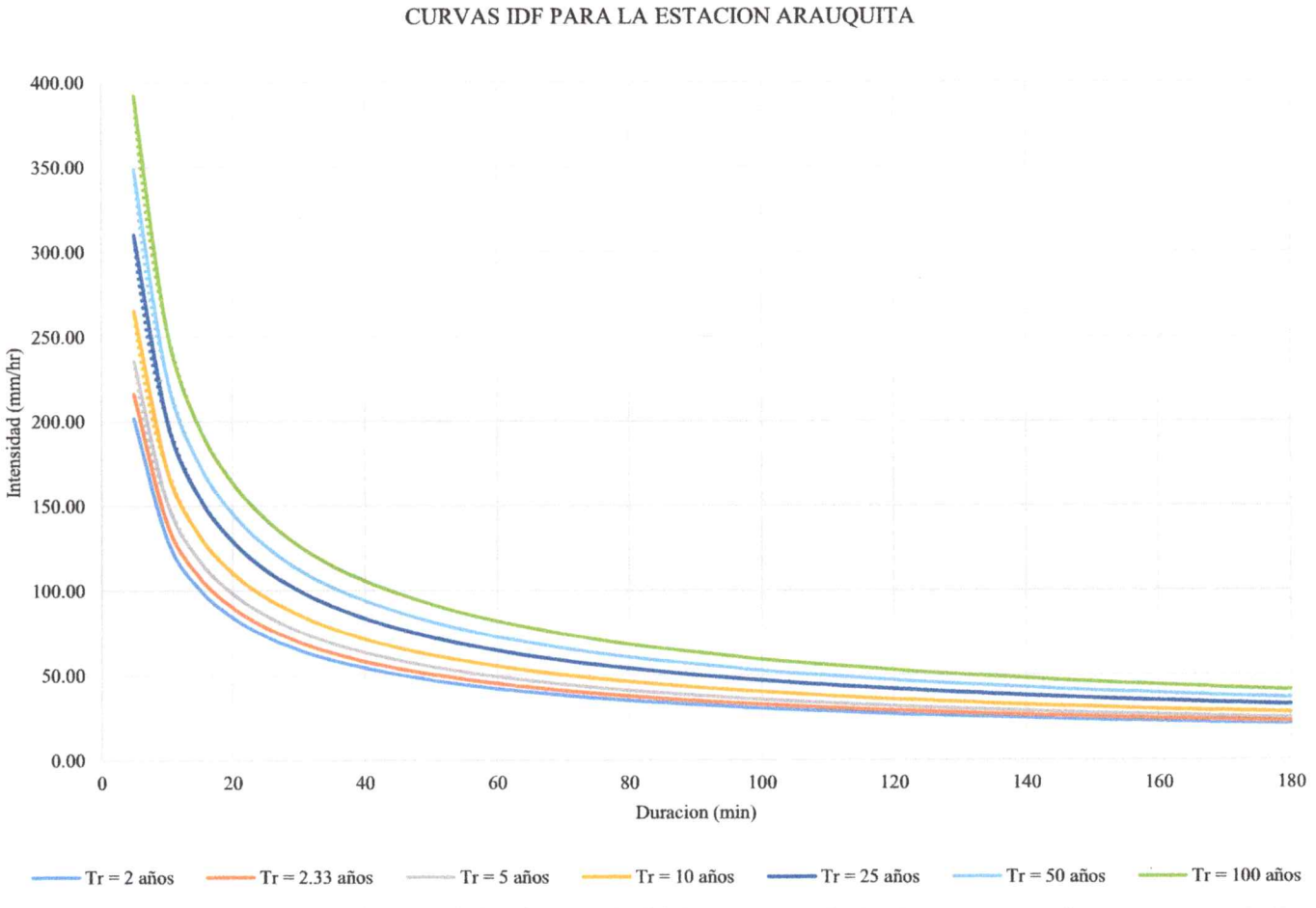

Figura 15. Curvas IDF estación ARAUQUITA

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magister en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

6.3 CÁLCULO DE CAUDALES

Debido a que las áreas de drenaje de las cuencas, se determina que para su análisis se empleara el método racional simplificado.

6.3.1 Cálculo de caudales por el método racional

La determinación del gasto de diseño para un sistema de recolección de aguas lluvias atiende generalmente el método racional, el cual es aplicable a áreas de drenaje menores a 80 Ha (resolución 0330), este método asume que el caudal máximo que se acumula en un determinado punto como consecuencia de aguas pluviales está expresado por la ecuación:

$$Q = C\,x\,I\,x\,A$$

Dónde:

Q = Caudal en litros/segundo.
C = Coeficiente de escorrentía.
i = Intensidad de lluvia (litros/segundo/ha)
A = Área en Has.

El método considera la intensidad de lluvias, para una duración igual al tiempo de concentración, ya que se estima que habrá un incremento de caudal a medida que se incrementa el área, puesto que la disminución en intensidad con el tiempo es compensada con el mayor incremento de área.

6.3.1.1 Tiempo De Concentración

Tiempo de concentración se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma.

En general, el tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, dentro de las cuales se analizó 5 de las 16 existentes, del manual de drenaje para carreteras presentado por el

- Ecuación de Kirpich

$$T_e = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Dónde:

Te: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metro por metro (m/m)

- Ecuación de Témez.

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

Dónde:
Te: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%)

- Ecuación de Ventura - Heras

$$T_e = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$$

Dónde:
Te: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%)

- Ecuación de Giandotti

$$T_e = \frac{4A^{0.5} + 1.50L}{25.3(L\,S)^{0.5}}$$

Dónde:
Te: Tiempo de concentración, en horas (h)
A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km2).
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m)

- Ecuación de V.T. Chow

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

Dónde:
Te: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Tabla 6. Tiempo de concentración para el proyecto

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DRENAJE		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN					
	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	PENDIENTE PONDERADA DEL CAUCE	Kirpich	Temez	Giandotti	Ventura-Heras	V.T Chow	tc prom
	Km	%	min	min	min	min	min	min
TRAMO A-B	0.69	0.36%	26.00	39.49	130.31	112.08	78.00	77.17
TRAMO C-B	1.45	0.15%	64.44	81.95	261.93	271.32	165.85	169.10

El tiempo de concentración se toma como la duración de la lluvia para efectos de cálculo.

6.3.1.2 Coeficiente De Escorrentía

El tipo de superficie, sus pendientes, así como los porcentajes de construcción son factores que influyen sobre el grado de impermeabilidad que facilita o retarda el escurrimiento de las aguas lluvias que puedan concentrarse en un punto. El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. La tabla D.4.7 del título D del RAS propone un rango de valores para el coeficiente C en zonas urbanas (ver Tabla 7).

Tabla 7 Coeficiente De Escorrentía (Título D RAS).

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	
TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
Cubiertas	0.90
Pavimentos asfalticos 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

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Tomando en cuenta que las características de la textura del suelo en los puntos de estudio son una combinación entre cubiertas, pavimentos, zona comercial o industrial y residenciales se empleará para el proyecto un coeficiente de escorrentía de 0.85.

Tabla 8. Caudales por el método racional.

Tramo		Long. de Tramo	Area Propia	Area Acumulada	Area	Area corregida	Coef. Escorrentía	Vel. real
De	A	Mts.	m2	m2	Ha	Ha	-	m/s
A	B	58.81	0	183646	18.4	18.4	0.85	1.30
C	B	8.30	564040	564040	56.4	55.8	0.85	2.61
B	D	149.83	35891	783577	78.4	77.6	0.85	1.63

Tramo		Tiempo de entrada	Tiempo Transporte	Tiempo concentración	Intensidad de precipitación	Caudal Diseño Q= C*I*A
De	A	min	min	min	Lts/seg-Ha	m^3/s
A	B	77.17	0.75	77.92	171.86	2.683
C	B	169.10	0.05	169.15	105.46	5.006
B	D	169.15	1.53	170.68	104.87	6.915

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

7. ANÁLISIS HIDRÁULICOS DEFINITIVOS

7.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Los análisis hidráulicos tuvieron como propósito proporcionar la información hidráulica básica requerida para determinar el nivel máximo de agua para un período de retorno de 50 años. Considerando lo anterior, se procedió a determinar a lo largo del tramo, los parámetros como nivel, profundidad, velocidad, esfuerzo cortante, radio hidráulico, pendiente de la línea de energía, número de Froude, etc.

Se proyecta la canalización del drenaje existente a partir del Box Culvert existente 1 (carrera 12A), continuando la obra hasta su empalme con el Box Culvert existente 2 (Vía Nacional), y continuar con la canalización del drenaje paralelo a la vía de acceso al municipio de Arauquita.

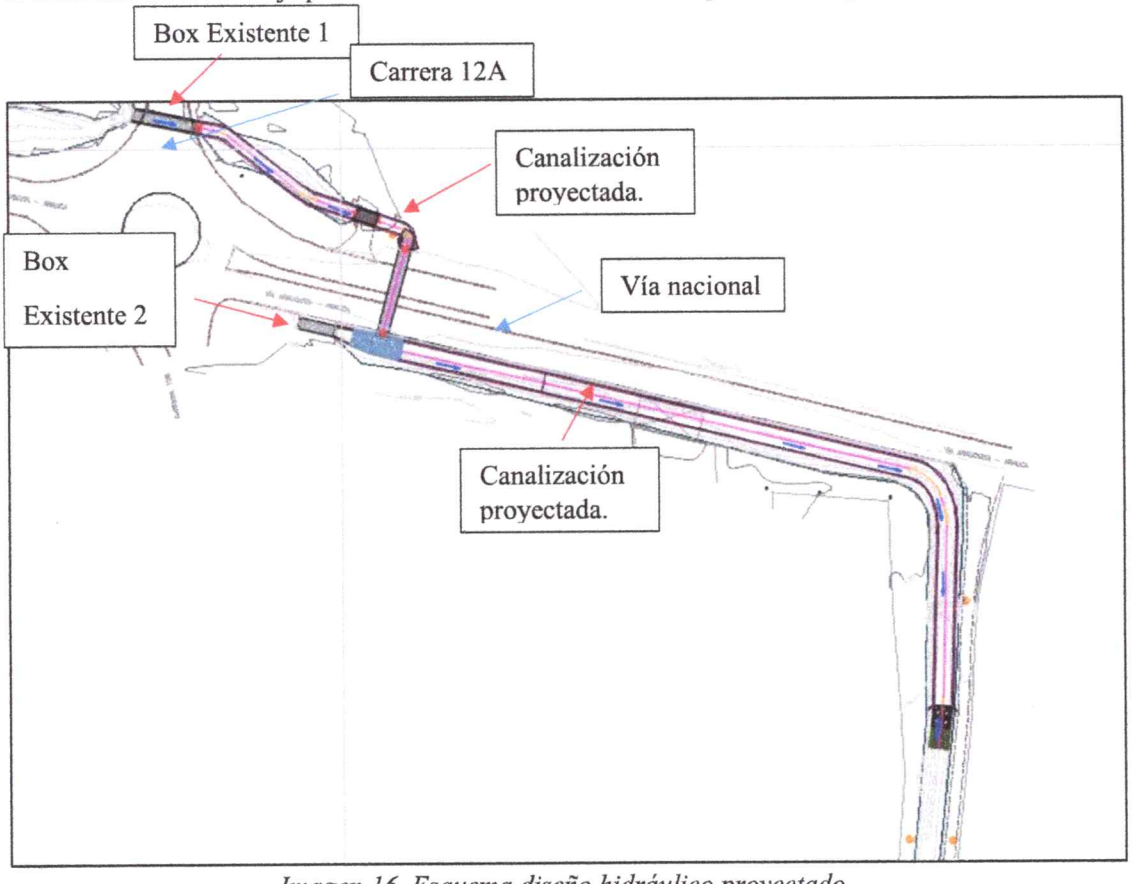

Imagen 16. Esquema diseño hidráulico proyectado.

7.2 CONSIDERACIONES ESPECIFICAS

- Se utiliza el levantamiento topográfico para determinar los puntos de control seleccionados, las longitudes y diferencias de nivel entre el punto de entrada a la vía y el punto más alejado para analizar el sistema de drenaje.
- El área acumulada se determinó por medio de la información secundaria recolectada del Plan Maestro Pluvial del municipio de Arauquita.
- Con base a las curvas IDF calculadas en el numeral anterior se procede a calcular el caudal utilizando el método racional.

7.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

En este capítulo se presenta el diseño hidráulico desarrollado para la canalización en concreto; para lograr un buen diseño deben tomarse en cuenta todas las variables que puedan intervenir en la determinación de un gasto de aguas lluvias acumulándose y que pueden crear inconvenientes en los usuarios de la vía, sin embargo, no deja de reconocerse que ello resulta difícil de evaluar y que aún con la mejor información posible, existirán criterios que primarán en el diseño de los proyectos referidos a un rango de probabilidades de ocurrencia de daños.

7.3.1 Velocidad

Las Aguas lluvias transportan sólidos que pueden depositarse en los colectores si el flujo tiene velocidades reducidas. Por esto se debe garantizar una adecuada velocidad para el transporte de estos sedimentos

7.3.1.1 Velocidad Mínima

Como se establece en el literal 5 del artículo 152 de la resolución 0330 de junio del 2017, la velocidad no debe ser inferior a 0.75 m/s

7.3.1.2 Velocidad Máxima

Como se establece en el literal 4 del artículo 152 de la resolución 0330 de junio del 2017 la velocidad máxima permitida es de 5.0 m/s para canales revestidos en concreto.

7.3.2 Pendiente

El tipo de superficie, sus pendientes, así como los porcentajes de construcción son factores que influyen sobre el grado de impermeabilidad que facilita o retarda el escurrimiento de las Aguas lluvias que puedan concentrarse en un punto.

7.3.2.1 Pendiente mínima

La pendiente mínima de diseño en canales revestidos debe ser aquella que no presente una velocidad inferior a 0.75 m/s, de acuerdo a lo establecido en el literal 5 del artículo 152 de la resolución 0330 de junio del 2017

7.3.2.2 Pendiente máxima

Es la pendiente que garantiza que en flujo uniforme no se presenten velocidades superiores a las velocidades máximas permitidas.

7.3.3 Pendiente Transversal o peralte

El bombeo del fondo del canal se empleará un valor del 2.0% con la finalidad de garantizar en épocas de caudales mínimos el escurrimiento por el eje de la canalización.

7.4 DISEÑO DE CANALIZACIÓN

En general los principios del flujo uniforme son adecuados para el diseño de canales no erodables. Se denominan canales no erodables a los conductos abiertos que pueden soportar satisfactoriamente la erosión producida por el paso del agua. Su diseño se plantea cuando se desea controlar la infiltración, cuando se requiere minimizar la erosión en el cuerpo del canal o cuando se requiere optimizar la sección hidráulica para aumentar la capacidad de transporte. Los canales no erodables son los revestidos (concreto, mampostería, suelo - cemento, etc.).

Un resumen de los criterios utilizados en el diseño de canales no erodables es el siguiente:

- Calcular las dimensiones del canal por medio de una fórmula de flujo uniforme.
- Ajustar las dimensiones finales con base en el concepto de la eficiencia hidráulica o mediante reglas empíricas de mejor sección desde el punto de vista práctico y económico.
- Para evitar que los sedimentos transportados por el agua golpeen fuertemente el cuerpo del canal se deberá revestir el canal con un material no erodable.
- Se selecciona la pendiente del canal según topografía y carga de energía, buscando una baja pendiente que cumpla con los criterios de velocidad
- Dependiendo del material de revestimiento y las condiciones del terreno se establece el talud o pendiente lateral, también se tienen en cuenta aspectos como su construcción, tamaño del canal, estabilidad y respuesta a una alta eficiencia hidráulica.
- Se debe garantizar un borde libre suficiente para resistir fluctuaciones en los niveles hidrométricos y evitar desbordamientos.

Los cálculos para el flujo uniforme se realizan fundamentalmente con las ecuaciones de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magister en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

$$Q = V * A$$

Dónde:

V = Velocidad media en m/s
n = Coeficiente de rugosidad de Manning
S = Pendiente hidráulica o del fondo del canal, m/m
R = Radio hidráulico, en m.
Q = Caudal en m3 / segundo
A = Área de la sección, en m2.

Dentro del diseño se propone la proyección un nuevo paso vial (estructura tipo Box), en reemplazo de la estructura existente (tubería) comprendido ente el K0+042.23 – K0+047.23, en donde a los Box Culvert existente 1 y 2 se le realizara la respectiva verificación hidráulica de capacidad.

Coeficiente de Manning: 0.015

Tabla 9. Diseño hidráulico canalización.

Tramo		Sw	Long. de Tramo	Area Propia	Area Acumulada	Area	Area corregida	Coef. Escorrentía	Vel. real
De	A	%	Mts.	m2	m2	Ha	Ha	-	m/s
A	B	0.100	58.81	0	183646	18.4	18.4	0.85	1.30
C	B	0.400	8.30	564040	564040	56.4	55.8	0.85	2.61
B	D	0.100	149.83	35891	783577	78.4	77.6	0.85	1.63

Tramo		Tiempo de entrada	Tiempo Transporte	Tiempo concentración	Intensidad de precipitación	Caudal Diseño Q= C*I*A
De	A	min	min	min	Lts/seg-Ha	m^3/s
A	B	77.17	0.75	77.92	171.86	2.683
C	B	169.10	0.05	169.15	105.46	5.006
B	D	169.15	1.53	170.68	104.87	6.915

Tramo		Base, B	Altura, H	Talud, Z	Altura Lamina, Yn	Relación Y/H	Q	Error
De	A	m	m	1 : z	m	-	m^3/s	m^3/s
A	B	2.70	1.00	0.00	0.76	0.76	2.68	0.00
C	B	2.10	1.80	0.00	0.91	0.51	5.01	0.00
B	D	4.20	1.80	0.00	1.01	0.55	6.91	0.00

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Tramo		Vel. real	Tiempo Transporte	Tiempo concentración	RELACIÓN Tt(inicial)/Tt(real)	A	P
De	A	m/s	min	min	-	m^2	m
A	B	1.30	0.75	**77.92**	1.00	2.06	4.22
C	B	2.61	0.05	**169.15**	1.00	1.92	3.92
B	D	1.63	1.53	**170.68**	1.00	4.24	6.22

Tramo		R	T	D	F	t	Cota Energía	
De	A	m	m	m	(-)	N/m^2	I	F
A	B	0.487	2.70	0.76	0.48	4.78	0.85	0.85
C	B	0.488	2.10	0.91	0.87	19.15	1.26	1.26
B	D	0.681	4.20	1.01	0.52	6.68	1.14	1.14

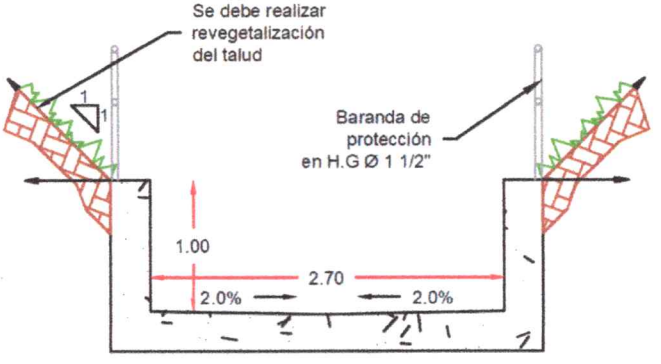

Figura 16. Sección tipo I canalización.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

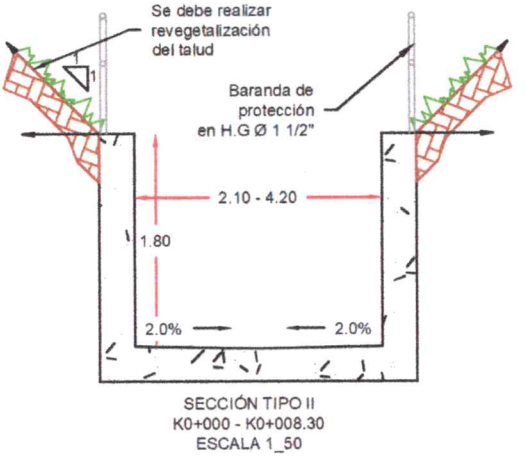

Figura 17. Sección tipo II canalización.

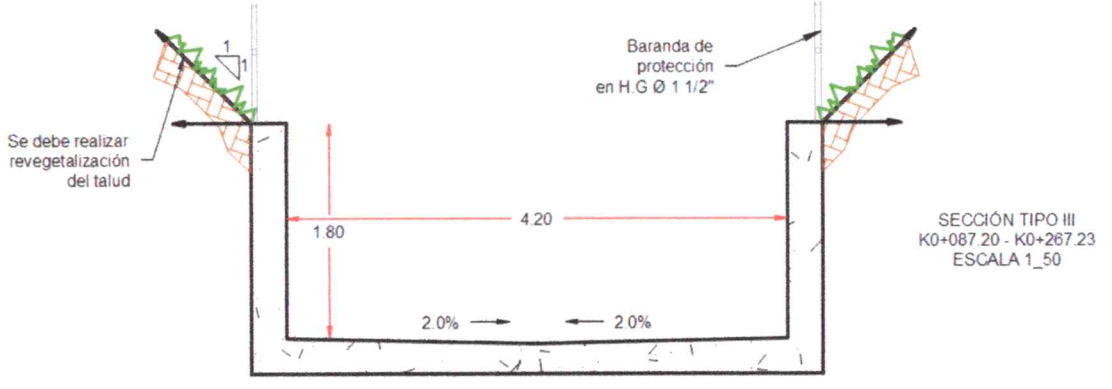

Figura 18. Sección tipo III canalización.

El Box Culvert proyectado presentara la misma sección hidráulica de la canalización proyectada en el tramo A-B.

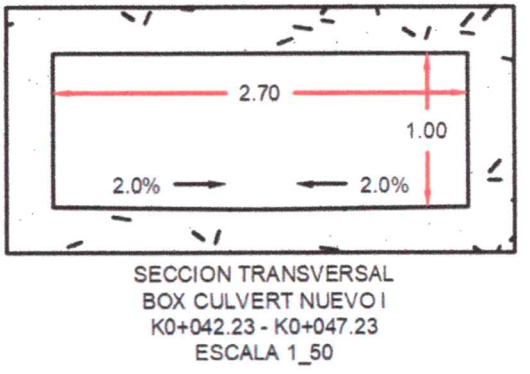

Figura 19. Sección transversal Box Culvert proyectado.

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Como se mencionó anteriormente, se realiza la evaluación de capacidad hidráulica del Box Culvert 1 y 2 existente sobre la Carrera 12A y la vía nacional:

Tabla 10. Evaluación hidráulica Box Culvert existentes.

Tramo	Sw	Long. de Tramo	Area Propia	Area Acumulada	Area	Area corregida	Coef. Escorrentía	Vel. real
	%	Mts.	m2	m2	Ha	Ha	-	m/s
BOX EXISTENTE CARRERA 12A	0.100	15.00	183646	183646	18.4	18.4	0.85	1.31
BOX CULVERT VÍA NACIONAL	0.460	20.22	0	183646	18.4	18.4	0.85	2.23

Tramo	Tiempo de entrada	Tiempo Transporte	Tiempo concentración	Intensidad de precipitación	Caudal Diseño Q= C*I*A
	min	min	min	Lts/seg-Ha	m^3/s
BOX EXISTENTE CARRERA 12A	77.17	0.19	77.36	172.64	2.695
BOX CULVERT VÍA NACIONAL	77.92	0.15	78.07	171.65	2.679

Tramo	Base, B	Altura, H	Talud, Z	Altura Lamina, Yn	Relación Y/H	Q	Error	Vel. real
	m	m	1 : z	m	-	m^3/s	m^3/s	m/s
BOX EXISTENTE CARRERA 12A	2.70	1.00	0.00	0.76	0.76	2.69	0.00	1.31
BOX CULVERT VÍA NACIONAL	2.50	1.50	0.00	0.48	0.32	2.68	0.00	2.23

Tramo	Tiempo Transporte	Tiempo concentración	RELACIÓN Tt (inicial)/ Tt (real)	A	P	R	T	D	F	t
	min	min	-	m^2	m	m	m	m	(-)	N/m^2
BOX EXISTENTE CARRERA 12A	0.19	**77.36**	1.00	2.06	4.23	0.488	2.70	0.76	0.48	4.79

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

Tramo	Tiempo Transporte	Tiempo concentración	RELACIÓN Tt (inicial)/ Tt (real)	A	P	R	T	D	F	t
	min	min	-	m^2	m	m	m	m	(-)	N/m^2
BOX CULVERT VÍA NACIONAL	0.15	**78.07**	1.00	1.20	3.46	0.347	2.50	0.48	1.03	15.65

De acuerdo a lo anterior se observa que los Box Culvert existentes tienen la capacidad para transportar el caudal esperado para el periodo de diseño analizado.

7.4.1 Diseño de Curvas En Canales

Un diseño integral del canal debe considerar el diseño de las curvas horizontales en su recorrido, para dar garantía a las condiciones de continuidad en el flujo. Los principales factores a considerar son:

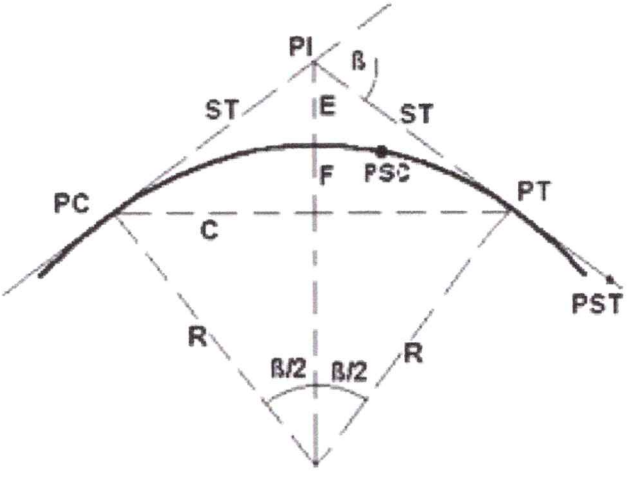

Figura 20. Esquema de Curvas en Canales.

En donde:

A = Arco, es la longitud de curva medida en cuerdas de 20 m

C = Cuerda larga, es la cuerda que sub – tiende la curva desde PC hasta PT.
ß = Angulo de deflexión, formado en el PI.
E = Externa, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz.
F = Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga.
G = Grado, es el ángulo central.
LC = Longitud de curva que une PC con PT.
PC = Principio de una curva.

PI = Punto de inflexión.
PT = Punto de tangente.
PSC = Punto sobre curva.
PST = Punto sobre tangente.
R = Radio de la curva.
ST = Sub tangente, distancia del PC al PI.

Las utilizadas en el diseño son:

Sen (G/2) = (c/2) / R
T = R tg (Δ/2)
L = (c X Δ) / G
Δh = (V2Xb)/(g*rc)

Existen algunas recomendaciones en cuanto al radio de curvatura según el caudal como la que se presenta en el libro elementos geométricos de acueductos y alcantarillados de López Cualla,[2] sin embargo en este proyecto es imposible cumplir con estos radios de curvatura, pues el presenta un alineamiento demasiado curvo o quebrado, razón por la cual el diseño de curvas se realizó de la siguiente manera:

- Se trazó el alineamiento del canal por todo el eje del drenaje existente.
- Se identificaron los tramos que presentan cambios en su alineación y por tanto necesario trazar allí una curva.
- Se trazó cada curva acorde a la curvatura natural que el terreno reflejaba.
- Posteriormente se calcula la sobreelevación del agua por estas curvas y se le proporciona al canal en dicha sección la altura necesaria para absorber esta sobreelevación.

7.4.1.1 Sobreelevación Del Agua Por La Curvatura.

Los niveles de agua, cuando se presentan Curvas en Canales, tienden a variar por efecto de la sobreelevación, con respecto al nivel medio del agua, que la fuerza centrífuga genera en la parte exterior de la Curva mientras que en su parte interior aparece una depresión en el nivel del agua. Todo esto apartando los flujos secundarios que se generan por efecto de estas Curvas que, con seguridad, generarán perturbaciones hasta una longitud determinada aguas abajo de ellas.

El inconveniente con estos cambios de elevación (y perturbaciones secundarias) generados por las Curvas en Canales, pueden ir desde socavaciones o deposiciones excesivas en estos puntos, si hablamos de canales no revestidos, hasta perturbaciones de estructuras hidráulicas, como compuertas o vertederos, ubicadas aguas debajo de estas curvas. Igualmente, no se puede perder de vista la posibilidad de desbordamiento del canal, por falta del adecuado borde libre.

[2] (Cualla, 2003)

Por lo tanto, para los efectos del diseño de Canales, es importante en extremo reducir al mínimo el número de curvas o cambios de dirección en el alineamiento del canal.

Por supuesto que los cambios de dirección serán inevitables en canales de cierta longitud, así hayamos minimizado al máximo las Curvas en el Canal, en cuyo caso es necesario contar con las expresiones o valores recomendados para la estimación de la sobreelevación generada por curvas de determinado radio, así como los radios mínimos que deben utilizarse para el diseño, de forma tal de garantizar las condiciones "uniformes" del flujo en canales.

7.4.1.2 Estimación de la sobreelevación del nivel de agua por efecto de las curvas en canales.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos propone la siguiente expresión para la estimación aproximada de la sobreelevación del nivel del agua que generan las Curvas en Canales:

$$\Delta y = C * \frac{V^2 * B}{g * R}$$

En donde:

Dy: Es la sobreelevación con respecto a la superficie libre horizontal. [m]

C: Es un Coeficiente que depende del tipo de régimen de flujo en el canal y la sección transversal del canal. Por ejemplo, para Curvas Circulares se tienen los valores siguientes:

Tabla 11. Coeficiente C acorde al tipo de régimen de flujo.

Régimen	Sección Transversal	C
Subcrítico	Rectangular, Trapezoidal	0,5
Supercrítico	Rectangular, Trapezoidal	1,0

V: Velocidad media en el Canal [m/s]

B: Ancho del Canal [m]

Ro: Radio de la curva, medido con respecto al eje del Canal. [m]

Como vemos, el efecto de la sobreelevación generada por las Curvas en Canales es mayor para las condiciones Supercríticas del Flujo, dadas las mayores velocidades presentes en este tipo de régimen.

A continuación, se presenta el cálculo de las sobreelevaciones en el agua por efecto de las curvas a lo largo del canal.

Tabla 12 Cálculo de la sobreelevación por efecto de la curvatura

CURVA	Yn	Velocidad	Base	Radio minimo	Radio usado	Δy	Yn + Δy	H	Yn + Δy < H
(-)	m	m/s	m	m	m	m	m	m	m
C1	0.76	1.30	2.70	2.46	5.00	0.09	0.86	1.00	OK
C2	0.76	1.30	2.70	2.46	15.00	0.03	0.79	1.00	OK
C3	0.76	1.30	2.70	2.46	2.50	0.19	0.95	1.00	OK
C4	1.01	1.63	4.20	4.52	10.00	0.11	1.12	1.80	OK
C5	1.01	1.63	4.20	4.52	15.00	0.08	1.08	1.80	OK
C6	1.01	1.63	4.20	4.52	50.00	0.02	1.03	1.80	OK

7.5 TRANSICIÓN EN CANALES

7.6 TRANSICIONES

Debido a que la canalización del cuerpo hídrico se realiza luego de adecuaciones estructurales de la zona urbana como construcción de puentes vehiculares y peatonales, Debido a esta situación el canal proyectado deberá ajustarse a las dimensiones de las estructuras existentes mediante transiciones.

Las transiciones son estructuras que permiten realizar un cambio de sección que puede deberse a un cambio de pendiente o a una adición de caudal que implica la ampliación de la sección hidráulica de los colectores, o en algunas ocasiones características especiales del proyecto.

El Angulo máximo de transición es de 12.5°, con el que se puede definir la longitud de la transición que se calcula de las siguientes maneras:

$$L = 2.255 \times (B_2 - B_1)$$

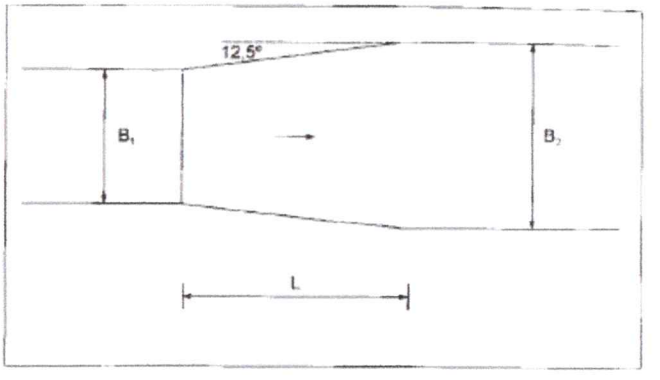

Figura 21. Esquema de transición

El empate de las secciones antes y después de la transición se debe hacer teniendo en cuenta la línea de energía, por lo tanto, se deben calcular las pérdidas de energía debido a estas transiciones utilizando la siguiente ecuación:

$$h_t = K \times \frac{\Delta V^2}{2g}$$

Donde K es un factor cuyo valor puede ser de 0.2 si se presenta un aumento en la velocidad o de 0.1 si se presenta una disminución en ella.

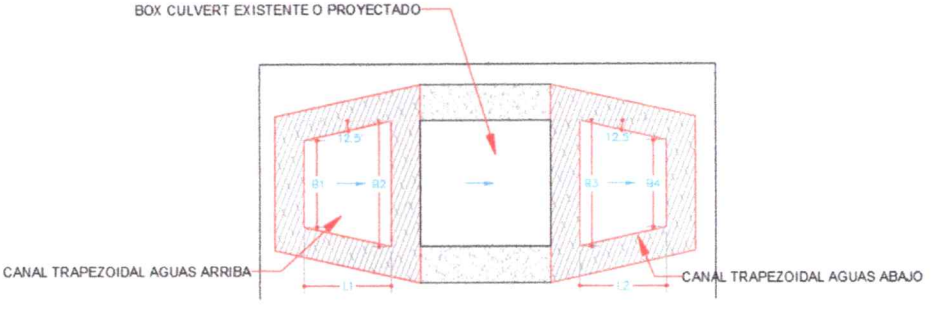

Figura 22. Esquema general de Transiciones

Tabla 13. Cálculo de transiciones

B1 (m)	B2 (m)	L (m)
2.7	2.5	0.45

7.7 MODELACIÓN HIDRÁULICA EN HEC RAS

Los análisis hidráulicos tuvieron como propósito proporcionar la información hidráulica básica requerida para determinar el nivel máximo de agua para un período de retorno de 50 años. Considerando lo anterior, se procedió a determinar a lo largo del tramo, los parámetros como nivel, profundidad, velocidad, esfuerzo cortante, radio hidráulico, pendiente de la línea de energía, número de Froude, etc. Para tal efecto, se calcularon los perfiles hidráulicos a lo largo del tramo utilizando el modelo HEC-RAS, tal como se describe a continuación

7.7.1 Procedimiento de Calculo

El análisis hidráulico se realizó mediante modelación en el Software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) del cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos.

Este software está diseñado para el modelamiento hidráulico de cauces de drenaje naturales y artificiales mediante la solución de la ecuación general de la energía obteniendo las láminas de agua y parámetros hidráulicos de las secciones que se introducen mediante el siguiente procedimiento:

- Entre una sección y otra, se resuelve la ecuación de la energía (Bernoulli) para obtener las alturas de escurrimiento

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^{\,2}}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^{\,2}}{2g} + h_e$$

Dónde:

Y_1, Y_2 = Altura de agua en las secciones transversales 1 y 2

Z_1, Z_2 = Cota de terreno las secciones transversales 1 y 2

V_1, V_2 = velocidades promedio de la sección

α_1, α_2 = coeficientes de ajuste de velocidades

g = aceleración de la gravedad

h_e = pérdida de carga

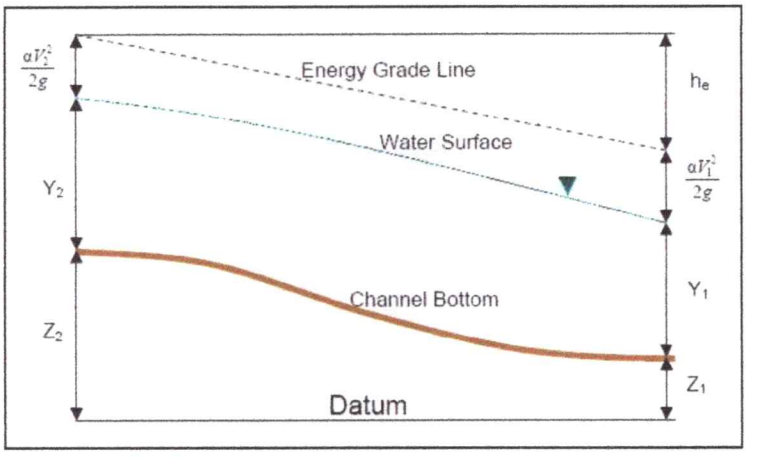

Figura 23. Perfiles de flujo para el modelo HEC-RAS.

- La pérdida de carga (h_e) es considerada como la suma de la pérdida friccional entre dos secciones y la diferencia entre cargas de velocidad entre secciones ponderadas por un coeficiente de pérdida por contracción o expansión.

Dónde:

$$h_e = LS_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^{\,2}}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^{\,2}}{2g}\right|$$

L = largo representativo del tramo

S_f = pendiente de fricción representativa entre dos secciones

C = coeficiente de pérdida por expansión o contracción

- Dado que el modelo es unidimensional es necesario utilizar sólo una altura de velocidad, este coeficiente compatibiliza las diferencias entre las alturas de velocidad de las distintas subsecciones.
- Se define en función de las áreas de flujo y la capacidad de conducción

$$\alpha = \frac{(A_t)^2\left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2}\right]}{(K_t)^3}$$

- Se define la capacidad de conducción de una subsección como el caudal dividido por la raíz de la pérdida de carga, esto se introduce en la ecuación de Manning.

$$K = \frac{Q}{\sqrt{S_f}}(m^3/s)$$

$$K = \frac{1}{n}AR^{2/3}(m^3/s)$$

Dónde:

K	=	capacidad de transporte de una subdivisión
n	=	coeficiente de Manning de una subdivisión
A	=	área de flujo de una subdivisión
R	=	radio hidráulico de una subdivisión

- La pérdida friccional se evalúa como la ponderación de la pendiente friccional representativa entre dos secciones por la distancia representativa L entre ellas.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

$$Pérdida \quad friccional = L \cdot \bar{S}_f$$

7.7.1 Coeficiente de Rugosidad

Se empleará un coeficiente de rugosidad de 0.015 para el material de revestimiento de concreto en el que se proyecta la canalización.

7.7.2 Caudal de diseño

Se emplearán los caudales de diseños obtenidos en el numeral 6.3.

7.7.3 Modelación Hidráulica

Se realizaron las simulaciones hidráulicas en HEC-RAS de los alineamientos finales de diseño de la canalización del drenaje natural para una longitud de modelación total de 374.80 m en la canalización principal y 8.0 m para el tramo C-B.

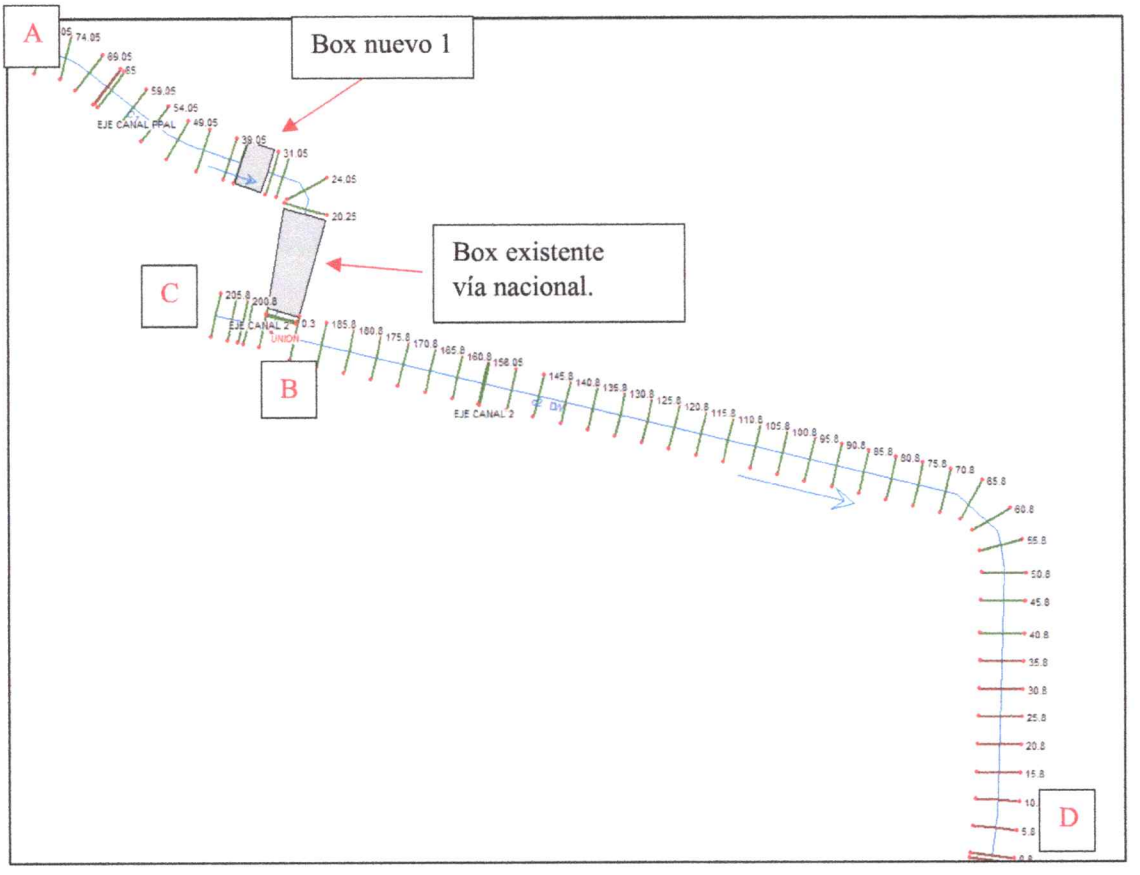

Figura 24. Geometría de la canalización.

7.7.3.1 Resultados de la modelación hidráulica

En la siguiente Figura se observa la vista isométrica de la modelación en donde se evidencia que la obra proyectada presenta la capacidad para transportar el caudal esperado para el periodo de diseño analizado.

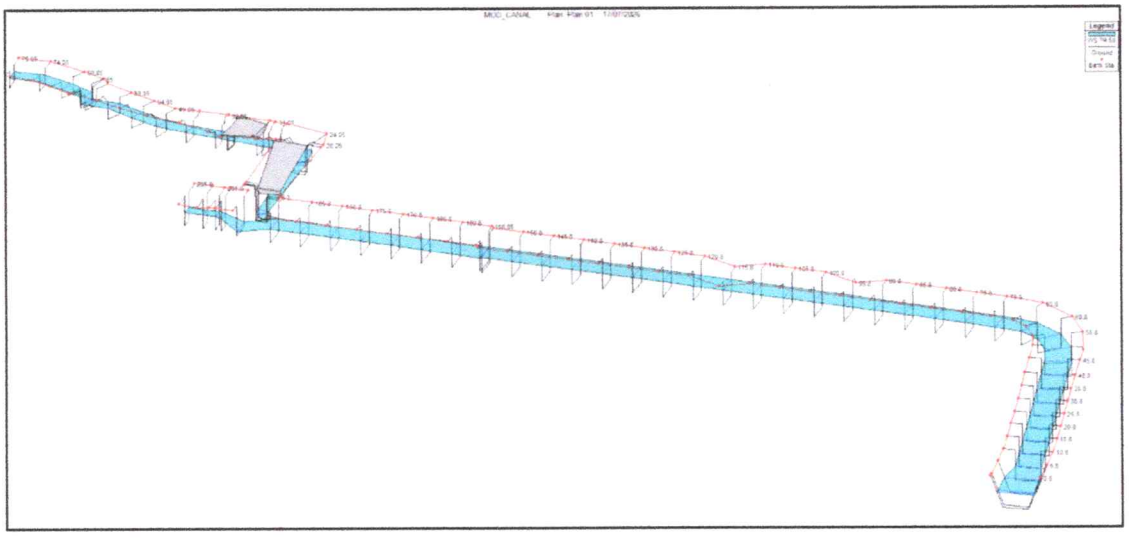

Figura 25. Vista isométrica de la modelación.

En la Figura 26 se presenta el perfil hidráulico de la canalización en donde se observa que las estructuras proyectadas y el Box existente presenta capacidad hidráulica para transportar el caudal esperado para el periodo de diseño analizado.

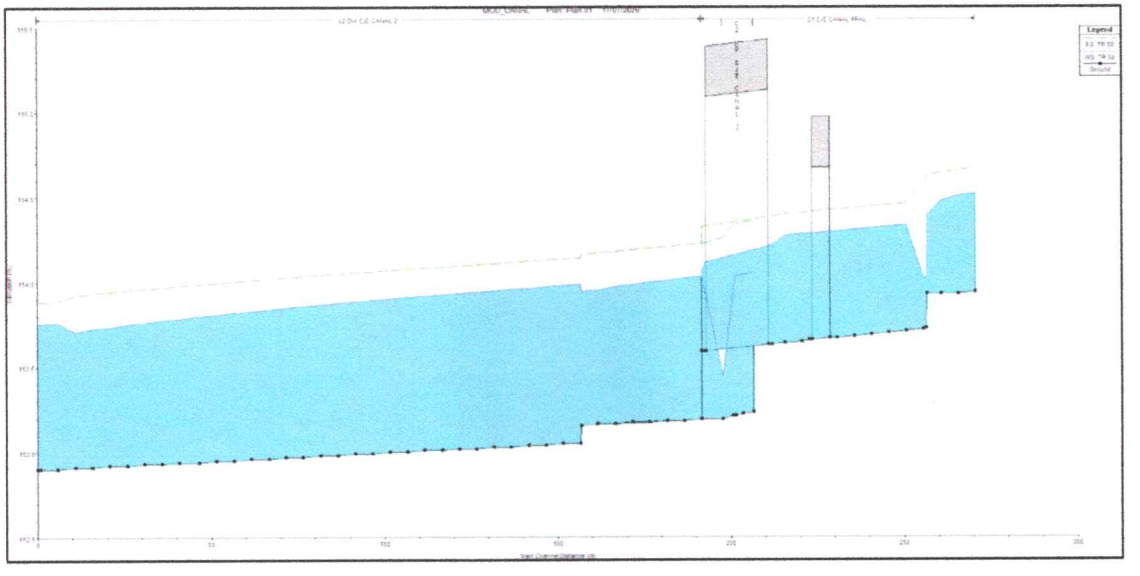

Figura 26. Perfil hidráulico de la canalización.

Las velocidades obtenidas son inferiores a 5.0 m/s, por lo que se cumple con lo establecido en la resolución 0330 de 2017 y 0799 de 2021.

Los resultados de las dos modelaciones se presentan en el Anexo 6.

8. CONCLUSIONES

- Para el desarrollo del presente informe se utilizó la información recolectada durante las visitas técnicas, la topografía suministrada por el contratista y el Plan Maestro Pluvial de Arauquita.

- En la zona de estudio, localizada en las inmediaciones del terminal de transporte del municipio de Arauquita se presenta actualmente una problemática por las deficientes condiciones del sistema de drenaje en el sector. En la zona de influencia del proyecto el agua proveniente del norte y occidente del casco urbano drena sobre terreno natural y atraviesa estructuras de paso de vía existentes, las cuales se encuentran colmatadas o en mal estado, lo que ocasiona deficiencia hidráulica que en periodos de precipitaciones ocasionan inundaciones afectando las condiciones de movilidad y generando escenarios de riesgos para la comunidad localizada en cercanías al área de estudio.

- Por la trayectoria del alineamiento de la nueva obra de canalización se encuentran 3 estructuras de paso de vial, 2 Box Culvert con presencia de sedimentos y un tubo en concreto en mal estado, por lo que dentro del alcance del presente proyecto se propone el reemplazo de la estructura tipo alcantarilla (tubería), por una obra nueva

- El estudio hidrológico y diseño hidráulico, se realizó acorde a los parámetros establecidos en la Resolución 0330 de junio de 2017 modificado por la resolución 0799 de 2021 y 0908 de 2021.

- Para el cálculo de las intensidades se emplearon las curvas IDF elaboradas por el método simplificado del INVIAS, para la estación ARAUQUITA del IDEAM identificada con el código 37050010 ubicada en cercanías al sitio del proyecto.

- El cálculo del caudal se realizó mediante el método racional obteniendo los caudales para el periodo de diseño de 50 años de acuerdo a lo establecido por la normatividad.

- El canal nuevo es continuo y está compuesto por 3 puntos de control, 1 box Culvert nuevos y 3 tipos de secciones hidráulicas rectangulares. El punto de inicio es el box Culvert existente I con sección rectangular (2.70 m y H=1.0m); continua con un tramo de canal con sección tipo I por una longitud de 42.23 m, donde se encuentra con el box Culvert nuevo que tiene las mismas dimensiones que el primero con una longitud de 5.0 m; luego continúa canalización en sección tipo 1 en una longitud de 11.13 m, hasta empalmar con el Box existente de la vía nacional de dimensiones de 2.50 m de base y 1.5 m de altura; En el punto donde termina el Box Culvert existente converge con el tramo C-B, que es un canal de ancho variable de 8.30 m de longitud y con sección tipo II para finalmente conectarse al tramo final del canal nuevo que tiene una longitud de 180.03 metros con sección tipo III y descarga con aletas en concreto al canal natural que fluye en dirección norte-sur.

- Debido al alineamiento de la canalización proyectado en la zona de descarga del box Culvert de la vía nacional, así como la descarga del box Culvert existente proveniente de la zona occidental y la limitación de espacio se hizo necesario tapar el canal en la zona de unión de

los descoles anteriormente mencionados, además al comportamiento que se espera del flujo en relación a la formación de vórtices por el cambio de dirección en un ángulo de 90°.

- De acuerdo al análisis hidráulico el Box Culvert localizado en la vía nacional y en la carrera 12A presenta capacidad para transportar el caudal esperado para el periodo de diseño analizado, por lo tanto, no se plantea su reemplazo.

- En el cálculo se garantiza un tirante hidráulico menor al 80% de la capacidad para un periodo de retorno de 50 años.

- Se realizó la simulación hidráulica de la canalización en el software Hec- Ras en donde no se observa desbordamiento ni problemas de sobreelevación a lo largo de su alineamiento.

- Como protección de la descarga en el fin de la canalización se proyecta un revestimiento en concreto ciclópeo en una extensión de 5.0 m como control de la erosión que se pueda presentar por el cambio de material de la canalización con el terreno natural.

- Se proyecta la instalación de barandas en la canalización propuesta, como medida de seguridad para la comunidad circundante en cercanías a la canalización propuesta.

- En los planos de diseño se establece un espesor de 0.30 m para los muros estructurales de las diferentes obras. No obstante, el espesor definitivo deberá ser determinado y, en caso necesario, ajustado de acuerdo con los resultados del análisis y diseño estructural realizado por el especialista estructural del proyecto, considerando las condiciones de carga, estabilidad y demás criterios técnicos aplicables.

Nelson Javier Cely Calixto
C.C. 88.248.537 de Cúcuta – M.P. 54202136452 NTS
Ingeniero Civil – Universidad Francisco de Paula Santander. Profesor Tiempo Completo.
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental – Universidad Manuela Beltrán.
Magíster en Obras Hidráulicas (Ven) o Recursos Hídricos (Col) – Universidad de los Andes.
Doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental - Universidad del Valle.
20 años de Experiencia como Consultor en el Área de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria.

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

RECOMENDACIONES

- Se debe garantizar la limpieza y mantenimiento del canal, socializando con la comunidad la importancia de este cuerpo hídrico para el desarrollo de la zona urbana.
- Es necesario eliminar todas las conexiones erradas como las descargas de aguas negras sobre el canal, así como no arrojar basuras a este.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

BIBLIOGRAFÍA

- Cualla, R. A. (2003). *ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS.* Bogotá DC, Colombia: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.
- IDEAM. (s.f.). *Atlas Climatologico de Colomba.* Obtenido de http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html
- Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio. (8 de junio de 2017). Resolución 0330 de 08 junio de 2017. Bogota DC, Colombia.
- Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. (2016). TITULO D - Sistemas de recolección y Evacuación De Aguas Residuales Domésticas y Aguas LLuvias. Bogota DC: Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Sociedad Geográfica De Colombia. (2002). *Atlas De Colombia.*
- Plan Maestro Pluvial de Arauquita (2016).

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

ANEXOS

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Anexo 1. Datos de precipitación estación IDEAM

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS PARA LA ESTACIÓN APTO CAMILO DAZA IDENTIFICADA COMO 16015010													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC	MAX
1972	0	0	0	0	0	34	56	39	38	106	41	0	106
1973	0	0	0	77	90	90	77	56	43	50	40	0	90
1974	9	20	8	60	87	39	83	35	60	20	35	0	87
1975	3	3.5	48	67	60	63	52	43	60	80	80	80	80
1976	8.8	18	0	43	44	46	58	49	41	100	51	23	100
1978	0	0	48	76	80	24	96	46	41	113	53	37	113
1979	0	3	48	41	55	35	67	68	54	24	34	50	68
1980	5	2	40	45	44	43	55	70	57	50	52	18	70
1981	0	0	0	0	0	0	0	17	12	13	21	47	47
1982	13	25	23	37	33	43	26	37	27	25	20	15	43
1983	62	54	35	70	24	62	0	0	44	112	18	8.8	112
1984	19.5	10.3	0	40.2	71.5	116.9	62.3	45.5	108.3	38.9	39.5	49.2	116.9
1985	0	65	5.1	42	42.3	55.3	65	40.9	40.5	42	20.2	19.6	65
1986	4.8	60.9	2	27.8	91.5	120.2	73.4	39.8	137	38.8	0	25	137
1987	30	16.5	65.5	45.7	55.1	81.9	51.7	58.4	54.1	107.4	53.3	3.1	107.4
1988	0	30.1	4.9	39.7	37.4	40.2	85.7	41.2	44.1	94.6	95.1	20.3	95.1
1989	10.1	50.5	5.3	12.2	29.6	41.1	51.6	50.7	98.7	46.2	31.4	47.5	98.7
1990	27.4	20.9	17.1	45.3	71.6	63.9	39.2	61.3	20.1	74.8	77.5	32.6	77.5
1991	0	28.4	31.9	39.9	65.2	90.2	40.9	55.5	60.6	99.4	56.8	5.2	99.4
1992	31.1	86	197	37.9	44.7	100.3	90.5	28.9	76.6	70.4	60.8	8.4	197
1993	32	23	32.9	54.2	87.9	60.2	60.4	26.8	100.7	50.1	17.8	7.4	100.7
1994	0	15	142	29	91	37	35	41	29	69	25	26	142
1995	39	0	20	71	55	136	45	57	82	65	85	50	136
1996	0	12	6	52	92	61	79	88	55	121	63	20	121

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS PARA LA ESTACIÓN APTO CAMILO DAZA IDENTIFICADA COMO 16015010													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC	MAX
1997	0	72	7	75	72	74	100	69	63	34	35	11	100
1998	0	17	23	70	60	79	39	89	52	59	41	58	89
1999	6	90	68	75	49	80	45	75	78	70	20	65	90
2000	0	17	57	31	61	0	66	0	50	31	47	12	66
2001	35	0	0	85	70	50	98	46	51	46	52	108	108
2002	13	0	32	74	58	41	80	41	30	29	33	13	80
2003	0	0	0	76	84	41	41	49	82	50	88	105	105
2004	0	0	1	51	78	70	56	36	81	83	22	59	83
2005	21	14	0	40	77	62	45	57	26	50	58	0	77
2006	85	0	45	66	110	80	91	40	60	35	95	16.2	110
2007	5.3	30.9	86.5	35.6	37.4	120.8	43	100.2	50.5	126.7	31.3	32.9	126.7
2008	83	14	25.2	26.4	30.2	25.2	34.3	50	37.5	36.2	80.2	14.5	83
2009	14.2	8.4	20.5	50.2	85.6	41	40	37	62	45	51	8	85.6
2010	0	1	31	81	78	82	41	92	94	52	30	11	94
2011	9	5	75	54	89	73	55	40	15	100	66	9	100
2012	0	6	25	38	48	21	14	24	9	11	8	15	48
2013	0	4	29	50	85	61	42	24	46	35	25	50	85
2014	20	1	1	65	46	44	68	35	45	63	78	22	78
2015	8	6	1	45	30	55	65	45	12	42	80	25	80
2016	0	1	2	85	90	48	35	41	45	18	68	25	90
2017	3	3	81	34	81	55	65	40	60	46	25	8	81
2018	36	0	38	41	71	75	72	35	62	70	55	0	75
2019	1	0	0	11	28	85	48	85	62	62	42	21	85
2020	12	0	1	88	56	72	65	72	62	11	58	12	88
2021	35	11	71	65	82	95	44	65	100	78	32	2	100
2022	0	18	32	130	65	55	58	72	62	25	91	48	130

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Anexo 2. Prueba de datos dudosos.

Los datos dudosos (outlers) son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas.

Para detectar datos dudosos altos, Chow, Maidment y Mays (1994) utilizan la siguiente ecuación de frecuencia:

$$Yh = X + \sigma . Kn$$

Para el cálculo de datos dudosos bajos Chow et al. (1994) se utiliza la siguiente ecuación:

$$Yl = X - \sigma . Kn$$

En donde:

Yh: umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas.
Yl: umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas.
X: media.
σ: desviación estándar.
Kn: constante que depende de n en la siguiente tabla.

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Tabla tomada de Ven te Chow.

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN APTO CAMILO DAZA			
N°	AÑO	P max	LOG (P max)
1	1972	106	2.025
2	1973	90	1.954
3	1974	87	1.940
4	1975	80	1.903
5	1976	100	2.000
6	1978	113	2.053
7	1979	68	1.833
8	1980	70	1.845
9	1981	47	1.672
10	1982	43	1.633
11	1983	112	2.049
12	1984	116.9	2.068
13	1985	65	1.813
14	1986	137	2.137
15	1987	107.4	2.031
16	1988	95.1	1.978
17	1989	98.7	1.994
18	1990	77.5	1.889
19	1991	99.4	1.997
20	1992	197	2.294
21	1993	100.7	2.003
22	1994	142	2.152
23	1995	136	2.134
24	1996	121	2.083
25	1997	100	2.000
26	1998	89	1.949
27	1999	90	1.954
28	2000	66	1.820
29	2001	108	2.033
30	2002	80	1.903
31	2003	105	2.021
32	2004	83	1.919
33	2005	77	1.886
34	2006	110	2.041
35	2007	126.7	2.103

PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN SAN BERNARDO BATA			
N°	AÑO	P max	LOG (P max)
1	1941	32	1.505
2	1944	102.3	2.010
3	1945	50.3	1.702
4	1946	57	1.756
5	1947	22	1.342
6	1948	28	1.447
7	1949	108.3	2.035
8	1950	86	1.934
9	1951	60.2	1.780
10	1952	60.6	1.782
11	1953	30	1.477
12	1954	20	1.301
13	1955	15.5	1.190
14	1956	20.1	1.303
15	1958	35	1.544
16	1959	20	1.301
17	1960	30	1.477
18	1961	10	1.000
19	1962	41.6	1.619
20	1963	90	1.954
21	1965	49	1.690
22	1966	60	1.778
23	1967	93	1.968
24	1968	70	1.845
25	1969	76	1.881
26	1970	61	1.785
27	1971	64.4	1.809
28	1972	101	2.004
29	1973	95.2	1.979
30	1974	76	1.881
31	1975	94.2	1.974
32	1976	54.7	1.738
33	1977	43.2	1.635
34	1978	74.6	1.873
35	1979	83.7	1.923

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN APTO CAMILO DAZA			
N°	AÑO	P max	LOG (P max)
36	2008	83	1.919
37	2009	85.6	1.932
38	2010	94	1.973
39	2011	100	2.000
40	2012	48	1.681
41	2013	85	1.929
42	2014	78	1.892
43	2015	80	1.903
44	2016	90	1.954
45	2017	81	1.908
46	2018	75	1.875
47	2019	85	1.929
48	2020	88	1.944
49	2021	100	2.000
50	2022	130	2.114
51	2023	110	2.041
52	2024	95	1.978
MEDIA =			1.963
DESVIACIÓN =			0.119
N° DATOS =			52
Kn =			2.780

YH =	2.294
YL =	1.633

P MAX =	**196.56**
P MIN =	**42.95**

PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN SAN BERNARDO BATA			
N°	AÑO	P max	LOG (P max)
36	1980	65	1.813
37	1981	73.7	1.867
38	1982	54.6	1.737
39	1983	54.5	1.736
40	1984	58	1.763
41	1985	98.7	1.994
42	1986	72.3	1.859
43	1987	97.7	1.990
44	1988	95.5	1.980
45	1989	80	1.903
46	1990	91.6	1.962
47	1991	50.2	1.701
48	1992	62	1.792
49	1993	48.8	1.688
50	1994	65.3	1.815
51	1995	55	1.740
52	1996	50.7	1.705
MEDIA =		**95.231**	**1.963**
DESVIACION =		**26.015**	**0.119**
Cs =		**1.072**	**-0.367**

Anexo 3. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov

Esta prueba se utiliza para probar hipótesis acerca de la distribución de la población, de la cual se extrae una variable aleatoria. La hipótesis nula para la prueba de bondad de ajuste es que la

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

distribución de la población es una distribución dada frente a la alternativa de que los datos no se ajustan a la distribución dada.

Para esta prueba consideremos lo siguiente:

Si se tiene una muestra de variables aleatorias X:$x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ se define la función de distribución empírica de la muestra:

$$Fe(X_i) = \begin{cases} 0 & , X < x_{(1)} \\ \dfrac{i-1}{n} & , x_{(i-1)} \le x < x_{(i)} \\ & \text{para } i = 1,2,\ldots,n \\ 1 & X \ge x_{(n)} \end{cases}$$

Donde $x_{(1)}, x_{(2)}, x_{(3)}, \ldots, x_{(n)}$ constituyen la muestra ordenada de menor a mayor. El estadístico de prueba para este test de Bondad de Ajuste se basa en la mayor distancia entre la distribución empírica de los datos Fe(x) y la distribución teórica que suponemos para la población F(x), entonces:

$$D = Max|Fe(x) - F(x)|$$

Pero $D = Max\{D^+, D^-\}$

El valor p es el nivel de significación alcanzado de una prueba. Esta cantidad es un estadístico que representa el mínimo valor de α para el cual se rechaza la hipótesis nula.

La frecuencia observada acumulada se calcula como sigue

$$\boldsymbol{F_n(xi) = \frac{n}{N+1}}$$

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magister en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV SMIRNOV PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010]									
N°	P (mm)	LOG P	Fn(Xi)	DISTRIBUCIÓN GUMBEL		DISTRIBUCIÓN NORMAL			
				F(Xi)	Dc	Z	q	F(Xi)	Dc
1	43.0	1.633	0.019	0.000	0.019	-2.297	0.567	0.011	0.008
2	47.0	1.672	0.038	0.000	0.037	-2.101	0.589	0.018	0.020
3	48.0	1.681	0.057	0.000	0.056	-2.052	0.594	0.020	0.037
4	65.0	1.813	0.075	0.068	0.007	-1.220	0.711	0.111	0.036
5	66.0	1.820	0.094	0.080	0.014	-1.171	0.720	0.121	0.027
6	68.0	1.833	0.113	0.108	0.005	-1.073	0.737	0.142	0.028
7	65.0	1.813	0.132	0.068	0.064	-1.220	0.711	0.111	0.021
8	66.0	1.820	0.151	0.080	0.070	-1.171	0.720	0.121	0.030
9	68.0	1.833	0.170	0.108	0.061	-1.073	0.737	0.142	0.028
10	70.0	1.845	0.189	0.141	0.048	-0.975	0.755	0.165	0.024
11	75.0	1.875	0.208	0.239	0.031	-0.730	0.805	0.233	0.025
12	77.0	1.886	0.226	0.283	0.056	-0.632	0.826	0.264	0.037
13	77.5	1.889	0.245	0.294	0.049	-0.607	0.832	0.272	0.026
14	78.0	1.892	0.264	0.305	0.041	-0.583	0.838	0.280	0.016
15	80.0	1.903	0.283	0.351	0.068	-0.485	0.861	0.314	0.031
16	80.0	1.903	0.302	0.351	0.049	-0.485	0.861	0.314	0.012
17	80.0	1.903	0.321	0.351	0.031	-0.485	0.861	0.314	0.007
18	81.0	1.908	0.340	0.374	0.035	-0.436	0.873	0.331	0.008
19	83.0	1.919	0.358	0.421	0.062	-0.338	0.899	0.368	0.009
20	83.0	1.919	0.377	0.421	0.043	-0.338	0.899	0.368	0.010
21	85.0	1.929	0.396	0.466	0.070	-0.240	0.926	0.405	0.009
22	85.0	1.929	0.415	0.466	0.051	-0.240	0.926	0.405	0.010
23	85.6	1.932	0.434	0.479	0.045	-0.211	0.934	0.417	0.017
24	87.0	1.940	0.453	0.510	0.057	-0.142	0.955	0.443	0.009

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV SMIRNOV PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010]									
N°	P (mm)	LOG P	Fn(Xi)	DISTRIBUCIÓN GUMBEL		DISTRIBUCIÓN NORMAL			
				F(Xi)	Dc	Z	q	F(Xi)	Dc
25	88.0	1.944	0.472	0.531	0.059	-0.093	0.970	0.463	0.009
26	89.0	1.949	0.491	0.552	0.061	-0.044	0.985	0.482	0.008
27	90.0	1.954	0.509	0.572	0.063	0.005	0.998	0.502	0.008
28	90.0	1.954	0.528	0.572	0.044	0.005	0.998	0.502	0.026
29	90.0	1.954	0.547	0.572	0.025	0.005	0.998	0.502	0.045
30	94.0	1.973	0.566	0.648	0.082	0.201	0.937	0.580	0.013
31	95.0	1.978	0.585	0.665	0.080	0.250	0.923	0.599	0.014
32	95.1	1.978	0.604	0.667	0.063	0.254	0.922	0.600	0.003
33	98.7	1.994	0.623	0.724	0.101	0.431	0.875	0.667	0.044
34	99.4	1.997	0.642	0.734	0.093	0.465	0.866	0.679	0.038
35	100.0	2.000	0.660	0.742	0.082	0.494	0.859	0.690	0.029
36	100.0	2.000	0.679	0.742	0.063	0.494	0.859	0.690	0.010
37	100.0	2.000	0.698	0.742	0.044	0.494	0.859	0.690	0.009
38	100.0	2.000	0.717	0.742	0.025	0.494	0.859	0.690	0.027
39	100.7	2.003	0.736	0.752	0.016	0.529	0.850	0.702	0.034
40	105.0	2.021	0.755	0.805	0.050	0.739	0.803	0.770	0.015
41	106.0	2.025	0.774	0.815	0.042	0.788	0.792	0.785	0.011
42	107.4	2.031	0.792	0.829	0.037	0.857	0.778	0.804	0.012
43	108.0	2.033	0.811	0.835	0.024	0.886	0.772	0.812	0.001
44	110.0	2.041	0.830	0.853	0.023	0.984	0.753	0.838	0.007
45	110.0	2.041	0.849	0.853	0.004	0.984	0.753	0.838	0.012
46	112.0	2.049	0.868	0.869	0.001	1.082	0.735	0.860	0.008
47	113.0	2.053	0.887	0.877	0.010	1.131	0.727	0.871	0.016
48	116.9	2.068	0.906	0.902	0.004	1.322	0.695	0.907	0.001

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magister en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV SMIRNOV PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010]									
N°	P (mm)	LOG P	Fn(Xi)	DISTRIBUCIÓN GUMBEL		DISTRIBUCIÓN NORMAL			
				F(Xi)	Dc	Z	q	F(Xi)	Dc
49	121.0	2.083	0.925	0.923	0.001	1.523	0.664	0.936	0.012
50	126.7	2.103	0.943	0.946	0.002	1.802	0.625	0.964	0.021
51	130.0	2.114	0.962	0.956	0.006	1.964	0.605	0.975	0.013
52	136.0	2.134	0.981	0.969	0.012	2.258	0.571	0.988	0.007

MEDIA	89.90		**d=**	0.063	**0.101**	**0.045**
DES. EST. =	20.42		**μ=**	80.715	OK	OK
Dt para nivel de significancia de 0.05 =				**0.1886**		

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magister en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV SMIRNOV PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010]											
N°	P (mm)	LOG P	Fn(Xi)	DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL				DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON			
				Z	q	F(Xi)	Dc	Y	X2	F(xi)	Dc
1	1.633	0.213	0.019	-2.917	0.507	0.002	0.017	-0.818	-1.637	0.000	0.019
2	1.672	0.223	0.038	-2.552	0.541	0.005	0.032	0.112	0.225	0.000	0.038
3	1.681	0.226	0.057	-2.465	0.549	0.007	0.050	0.333	0.665	0.000	0.057
4	1.813	0.258	0.075	-1.219	0.711	0.111	0.036	3.505	7.010	0.098	0.023
5	1.820	0.260	0.094	-1.156	0.722	0.124	0.029	3.665	7.330	0.116	0.021
6	1.833	0.263	0.113	-1.033	0.744	0.151	0.037	3.977	7.954	0.153	0.040
7	1.813	0.258	0.132	-1.219	0.711	0.111	0.021	3.505	7.010	0.098	0.034
8	1.820	0.260	0.151	-1.156	0.722	0.124	0.027	3.665	7.330	0.116	0.035
9	1.833	0.263	0.170	-1.033	0.744	0.151	0.019	3.977	7.954	0.153	0.016
10	1.845	0.266	0.189	-0.914	0.767	0.180	0.008	4.280	8.561	0.195	0.006
11	1.875	0.273	0.208	-0.631	0.827	0.264	0.057	5.002	10.005	0.306	0.099
12	1.886	0.276	0.226	-0.523	0.852	0.301	0.074	5.278	10.556	0.352	0.126
13	1.889	0.276	0.245	-0.496	0.858	0.310	0.065	5.345	10.691	0.363	0.118
14	1.892	0.277	0.264	-0.470	0.865	0.319	0.055	5.413	10.826	0.375	0.110
15	1.903	0.279	0.283	-0.365	0.892	0.357	0.074	5.678	11.355	0.419	0.136
16	1.903	0.279	0.302	-0.365	0.892	0.357	0.055	5.678	11.355	0.419	0.117
17	1.903	0.279	0.321	-0.365	0.892	0.357	0.037	5.678	11.355	0.419	0.098
18	1.908	0.281	0.340	-0.314	0.905	0.377	0.037	5.808	11.615	0.441	0.101
19	1.919	0.283	0.358	-0.214	0.933	0.415	0.057	6.063	12.126	0.483	0.124
20	1.919	0.283	0.377	-0.214	0.933	0.415	0.038	6.063	12.126	0.483	0.105
21	1.929	0.285	0.396	-0.116	0.963	0.454	0.057	6.312	12.624	0.523	0.127
22	1.929	0.285	0.415	-0.116	0.963	0.454	0.039	6.312	12.624	0.523	0.108
23	1.932	0.286	0.434	-0.087	0.972	0.465	0.031	6.386	12.771	0.534	0.100
24	1.940	0.288	0.453	-0.021	0.993	0.492	0.039	6.555	13.111	0.561	0.108
25	1.944	0.289	0.472	0.026	0.991	0.510	0.039	6.675	13.350	0.579	0.107

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV SMIRNOV PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010]											
N°	P (mm)	LOG P	Fn(Xi)	DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL				DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON			
				Z	q	F(Xi)	Dc	Y	X2	F(xi)	Dc
26	1.949	0.290	0.491	0.073	0.976	0.529	0.038	6.793	13.586	0.596	0.106
27	1.954	0.291	0.509	0.119	0.962	0.547	0.038	6.910	13.820	0.613	0.104
28	1.954	0.291	0.528	0.119	0.962	0.547	0.019	6.910	13.820	0.613	0.085
29	1.954	0.291	0.547	0.119	0.962	0.547	0.000	6.910	13.820	0.613	0.066
30	1.973	0.295	0.566	0.297	0.910	0.617	0.051	7.365	14.730	0.676	0.109
31	1.978	0.296	0.585	0.341	0.898	0.633	0.048	7.476	14.952	0.690	0.105
32	1.978	0.296	0.604	0.345	0.897	0.635	0.031	7.487	14.974	0.691	0.087
33	1.994	0.300	0.623	0.498	0.858	0.691	0.068	7.876	15.751	0.737	0.115
34	1.997	0.300	0.642	0.527	0.851	0.701	0.059	7.950	15.899	0.745	0.104
35	2.000	0.301	0.660	0.552	0.845	0.709	0.049	8.013	16.025	0.752	0.092
36	2.000	0.301	0.679	0.552	0.845	0.709	0.030	8.013	16.025	0.752	0.073
37	2.000	0.301	0.698	0.552	0.845	0.709	0.011	8.013	16.025	0.752	0.054
38	2.000	0.301	0.717	0.552	0.845	0.709	0.008	8.013	16.025	0.752	0.035
39	2.003	0.302	0.736	0.580	0.838	0.719	0.017	8.086	16.171	0.760	0.024
40	2.021	0.306	0.755	0.752	0.800	0.774	0.019	8.523	17.046	0.803	0.048
41	2.025	0.306	0.774	0.791	0.792	0.786	0.012	8.622	17.245	0.812	0.038
42	2.031	0.308	0.792	0.845	0.781	0.801	0.009	8.760	17.519	0.823	0.031
43	2.033	0.308	0.811	0.868	0.776	0.807	0.004	8.818	17.636	0.828	0.017
44	2.041	0.310	0.830	0.943	0.761	0.827	0.003	9.010	18.020	0.843	0.013
45	2.041	0.310	0.849	0.943	0.761	0.827	0.022	9.010	18.020	0.843	0.006
46	2.049	0.312	0.868	1.017	0.747	0.846	0.022	9.198	18.397	0.857	0.011
47	2.053	0.312	0.887	1.054	0.740	0.854	0.033	9.291	18.583	0.863	0.023
48	2.068	0.316	0.906	1.193	0.716	0.884	0.022	9.647	19.293	0.886	0.020
49	2.083	0.319	0.925	1.335	0.692	0.909	0.015	10.007	20.014	0.905	0.019
50	2.103	0.323	0.943	1.524	0.664	0.936	0.007	10.489	20.978	0.927	0.017

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV SMIRNOV PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010]											
N°	P (mm)	LOG P	Fn(Xi)	DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL				DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON			
				Z	q	F(Xi)	Dc	Y	X2	F(xi)	Dc
51	2.114	0.325	0.962	1.630	0.648	0.948	0.014	10.758	21.516	0.937	0.026
52	2.134	0.329	0.981	1.816	0.623	0.965	0.016	11.230	22.460	0.951	0.030

MEDIA	1.94		0.074	0.136
DES. EST. =	0.11		OK	OK
Dt para nivel de significancia de 0.05 =		**0.1886**		

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail.: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Anexo 4. Distribución de probabilidad con el mejor ajuste para la estación.

- **Distribución Normal**

Se emplea la siguiente ecuación.

$$Q = \overline{Q} + K_T \ \sigma_Q$$

K_T: factor de frecuencia que depende del periodo de retorno del evento.

Por distribución normal K_T se halla con la siguiente ecuación:

$$K_T = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$$

$$W = \left[Ln\left(\frac{1}{P^2}\right)\right]^{1/2}$$

P: probabilidad de ocurrencia del evento.

$$P = \frac{1}{T}$$

T: periodo de retorno del evento, (años).

- **Distribución Gumbell.**

El procedimiento es similar al anterior pero en el factor de frecuencia del evento se emplea el factor de frecuencia de Gumbell, el cual se determina mediante la siguiente ecuación.

$$K_T = \frac{\sqrt{6}}{\Pi}\left\{0.5772 + Ln\left[Ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]\right\}$$

- **Distribución Log Pearson Tipo III**

Esta distribución emplea para la predicción de los caudales los logaritmos en base 10 de los datos presentes en el registro histórico.

$$\text{Log } Q = \overline{Log\ Q} + K_T \ \sigma_{Log\ Q}$$

El factor de frecuencia de Log Pearson se calcula con la siguiente ecuación:

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

$$K_T = Z + (Z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(Z^3 - 6Z)k^2 - (Z^2 - 1)k^3 + Zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Z: Se calcula igual que el factor de frecuencia de distribución normal.

$$Z = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$$

$$k = \frac{Cs}{6}$$

Cs: Coeficiente de asimetría que se calcula con los logaritmos de los datos.

$$Cs = \frac{n\sum(logx - \overline{logx})^3}{(n-1)(n-2)(\sigma logx)^3}$$

- Distribución Log Normal.

El procedimiento es el mismo que en la distribución normal, la única diferencia es que en esta distribución se trabaja con el logaritmo de la variable analizada.

A continuación, se presenta la distribución con el mejor ajuste en cada una de las estaciones analizadas.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H PARA LA ESTACIÓN ARAUQUITA [37050010] POR DISTRIBUCIÓN NORMAL				
Tr (Años)	**p**	**w**	**z**	**P (mm)**
2	0.50	1.177	0.000	67.192
3	0.33	1.482	0.430	79.580
5	0.20	1.794	0.841	91.418
10	0.10	2.146	1.282	104.094
25	0.04	2.537	1.751	117.607
50	0.02	2.797	2.054	126.334
100	0.01	3.035	2.327	134.182

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Anexo 5. Cálculo de las curvas IDF

INTENSIDAD PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y DURACIONES DE LLUVIA (mm/hr)							
DURACIÓN EN MINUTOS	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	3	5	10	25	50	100
5	201.78	216.18	235.79	265.27	309.99	348.76	392.37
10	130.38	139.69	152.36	171.41	200.31	225.36	253.54
15	100.99	108.20	118.01	132.77	155.15	174.56	196.39
20	84.25	90.26	98.45	110.76	129.43	145.62	163.83
25	73.20	78.43	85.54	96.24	112.46	126.52	142.35
30	65.26	69.92	76.26	85.79	100.26	112.79	126.90
35	59.22	63.44	69.20	77.85	90.98	102.35	115.16
40	54.44	58.33	63.62	71.57	83.64	94.10	105.86
45	50.55	54.15	59.07	66.45	77.66	87.37	98.29
50	47.30	50.68	55.27	62.19	72.67	81.76	91.98
55	44.54	47.72	52.05	58.56	68.43	76.99	86.62
60	42.17	45.18	49.28	55.44	64.78	72.88	82.00
65	40.09	42.96	46.85	52.71	61.60	69.30	77.97
70	38.27	41.00	44.72	50.31	58.79	66.14	74.41
75	36.64	39.25	42.81	48.17	56.29	63.33	71.25
80	35.18	37.69	41.11	46.25	54.04	60.80	68.41
85	33.86	36.28	39.57	44.52	52.02	58.52	65.84
90	32.66	34.99	38.17	42.94	50.18	56.45	63.51
95	31.57	33.82	36.89	41.50	48.50	54.56	61.39
100	30.56	32.75	35.72	40.18	46.96	52.83	59.44
105	29.64	31.75	34.64	38.97	45.54	51.23	57.64
110	28.78	30.84	33.64	37.84	44.22	49.75	55.97
115	27.99	29.99	32.71	36.80	43.00	48.38	54.43
120	27.25	29.19	31.84	35.82	41.86	47.10	52.99
125	26.56	28.45	31.03	34.91	40.80	45.90	51.64
130	25.91	27.76	30.28	34.06	39.80	44.78	50.38
135	25.30	27.10	29.56	33.26	38.87	43.73	49.20
140	24.73	26.49	28.89	32.51	37.99	42.74	48.08
145	24.19	25.91	28.26	31.80	37.16	41.80	47.03
150	23.67	25.36	27.67	31.13	36.37	40.92	46.04
155	23.19	24.85	27.10	30.49	35.63	40.08	45.10
160	22.73	24.35	26.56	29.88	34.92	39.29	44.20
170	21.88	23.44	25.57	28.76	33.61	37.82	42.55
175	21.48	23.02	25.10	28.24	33.01	37.13	41.78

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Anexo 6. Resultados modelación hidráulica Hec Ras.

River	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Lámina	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
C2 UP	205.8	TR 50	4.24	153.23	154.05	0.82	153.97	154.36	0.003775	2.45	1.73	2.1	0.86
C2 UP	202.8	TR 50	4.24	153.22	154.04	0.82	153.96	154.35	0.003806	2.46	1.73	2.1	0.86
C2 UP	200.8	TR 50	4.24	153.21	154.03	0.82	153.95	154.34	0.003778	2.45	1.73	2.1	0.86
C2 UP	199.8	TR 50	4.24	153.21	153.95	0.74	153.95	154.33	0.005027	2.72	1.56	2.1	1.01
C2 UP	196.99	TR 50	4.24	153.19	153.44	0.25	153.66	154.26	0.026343	4	1.06	4.2	2.55
c2 DW	190.8	TR 50	6.91	153.19	154.03	0.84	153.84	154.23	0.001694	1.95	3.54	4.2	0.68
c2 DW	185.8	TR 50	6.91	153.18	154.02	0.84		154.22	0.001684	1.95	3.54	4.2	0.68
c2 DW	180.8	TR 50	6.91	153.18	154.01	0.83		154.21	0.001776	1.99	3.48	4.2	0.7
c2 DW	175.8	TR 50	6.91	153.17	154	0.83		154.2	0.001768	1.98	3.49	4.2	0.69
c2 DW	170.8	TR 50	6.91	153.17	153.98	0.81		154.19	0.001884	2.03	3.41	4.2	0.72
c2 DW	165.8	TR 50	6.91	153.16	153.97	0.81		154.18	0.001879	2.02	3.41	4.2	0.72
c2 DW	160.8	TR 50	6.91	153.16	153.95	0.79		154.17	0.002022	2.07	3.33	4.2	0.74

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

River	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Lámina	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
c2 DW	156.05	TR 50	6.91	153.15	153.94	0.79		154.16	0.002021	2.07	3.33	4.2	0.74
c2 DW	155.8	TR 50	6.91	153.05	153.99	0.94		154.14	0.001241	1.76	3.93	4.2	0.58
c2 DW	150.8	TR 50	6.91	153.05	153.98	0.93		154.14	0.001276	1.77	3.89	4.2	0.59
c2 DW	145.8	TR 50	6.91	153.04	153.97	0.93		154.13	0.001258	1.77	3.91	4.2	0.58
c2 DW	140.8	TR 50	6.91	153.04	153.96	0.92		154.12	0.001294	1.78	3.88	4.2	0.59
c2 DW	135.8	TR 50	6.91	153.03	153.96	0.93		154.12	0.001277	1.77	3.89	4.2	0.59
c2 DW	130.8	TR 50	6.91	153.03	153.95	0.92		154.11	0.001314	1.79	3.86	4.2	0.6
c2 DW	125.8	TR 50	6.91	153.02	153.94	0.92		154.1	0.001297	1.78	3.87	4.2	0.59
c2 DW	120.8	TR 50	6.91	153.02	153.93	0.91		154.1	0.001335	1.8	3.83	4.2	0.6
c2 DW	115.8	TR 50	6.91	153.01	153.93	0.92		154.09	0.001318	1.79	3.85	4.2	0.6
c2 DW	110.8	TR 50	6.91	153.01	153.92	0.91		154.09	0.001359	1.81	3.81	4.2	0.61
c2 DW	105.8	TR 50	6.91	153	153.91	0.91		154.08	0.001343	1.81	3.83	4.2	0.6

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

River	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Lámina (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
c2 DW	100.8	TR 50	6.91	153	153.9	0.9		154.07	0.001386	1.83	3.79	4.2	0.61
c2 DW	95.8	TR 50	6.91	152.99	153.9	0.91		154.06	0.001369	1.82	3.8	4.2	0.61
c2 DW	90.8	TR 50	6.91	152.99	153.89	0.9		154.06	0.001414	1.84	3.76	4.2	0.62
c2 DW	85.8	TR 50	6.91	152.98	153.88	0.9		154.05	0.001397	1.83	3.78	4.2	0.62
c2 DW	80.8	TR 50	6.91	152.98	153.87	0.89		154.04	0.001449	1.85	3.73	4.2	0.63
c2 DW	75.8	TR 50	6.91	152.97	153.86	0.89		154.03	0.001436	1.85	3.74	4.2	0.63
c2 DW	70.8	TR 50	6.91	152.97	153.85	0.88		154.03	0.001492	1.87	3.69	4.2	0.64
c2 DW	65.8	TR 50	6.91	152.96	153.84	0.88		154.02	0.001479	1.87	3.7	4.2	0.63
c2 DW	60.8	TR 50	6.91	152.96	153.83	0.87		154.01	0.00154	1.89	3.65	4.2	0.65
c2 DW	55.8	TR 50	6.91	152.95	153.82	0.87		154	0.001528	1.89	3.66	4.2	0.65
c2 DW	50.8	TR 50	6.91	152.95	153.81	0.86		154	0.001596	1.91	3.61	4.2	0.66
c2 DW	45.8	TR 50	6.91	152.94	153.8	0.86		153.99	0.001586	1.91	3.62	4.2	0.66

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

River	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Lámina (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
c2 DW	40.8	TR 50	6.91	152.94	153.79	0.85		153.98	0.001675	1.95	3.55	4.2	0.68
c2 DW	35.8	TR 50	6.91	152.93	153.78	0.85		153.97	0.001665	1.94	3.56	4.2	0.67
c2 DW	30.8	TR 50	6.91	152.93	153.76	0.83		153.96	0.001753	1.98	3.5	4.2	0.69
c2 DW	25.8	TR 50	6.91	152.92	153.75	0.83		153.95	0.001745	1.97	3.5	4.2	0.69
c2 DW	20.8	TR 50	6.91	152.92	153.74	0.82		153.94	0.001856	2.02	3.43	4.2	0.71
c2 DW	15.8	TR 50	6.91	152.91	153.73	0.82		153.93	0.001851	2.01	3.43	4.2	0.71
c2 DW	10.8	TR 50	6.91	152.91	153.71	0.8		153.92	0.00199	2.06	3.35	4.2	0.74
c2 DW	5.8	TR 50	6.91	152.9	153.76	0.86		153.89	0.000967	1.57	4.4	5.99	0.58
c2 DW	0.8	TR 50	6.91	152.9	153.76	0.86		153.89	0.000994	1.58	4.36	5.98	0.59
c2 DW	0	TR 50	6.91	152.9	153.76	0.86	153.52	153.88	0.001001	1.59	4.35	5.97	0.59
C1	79.05	TR 50	2.67	153.94	154.52	0.58	154.4	154.67	0.00219	1.71	1.56	2.7	0.72
C1	74.05	TR 50	2.67	153.93	154.51	0.58		154.66	0.002219	1.72	1.56	2.7	0.72

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

River	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Lámina (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
C1	69.05	TR 50	2.67	153.93	154.48	0.55	154.39	154.64	0.002572	1.8	1.48	2.7	0.78
C1	65	TR 50	2.67	153.93	154.39	0.46	154.39	154.63	0.004278	2.14	1.25	2.7	1.01
C1	64.9	TR 50	2.67	153.73	154.03	0.3	154.19	154.59	0.016377	3.33	0.8	2.7	1.95
C1	64.05	TR 50	2.67	153.72	154.02	0.3	154.18	154.57	0.015813	3.29	0.81	2.7	1.92
C1	59.05	TR 50	2.67	153.71	154.34	0.63	154.17	154.46	0.001748	1.58	1.69	2.7	0.64
C1	54.05	TR 50	2.67	153.7	154.33	0.63		154.45	0.001737	1.58	1.69	2.7	0.64
C1	49.05	TR 50	2.67	153.69	154.32	0.63		154.44	0.001725	1.57	1.7	2.7	0.63
C1	44.05	TR 50	2.67	153.68	154.31	0.63		154.44	0.001714	1.57	1.7	2.7	0.63
C1	39.05	TR 50	2.67	153.67	154.3	0.63		154.43	0.001704	1.57	1.7	2.7	0.63
C1	37.05	TR 50	2.67	153.67	154.3	0.63	154.13	154.42	0.001744	1.58	1.69	2.7	0.64
C1	34.05		Bridge										
C1	31.05	TR 50	2.67	153.66	154.28	0.62		154.41	0.001753	1.58	1.69	2.7	0.64
C1	29.05	TR 50	2.67	153.65	154.28	0.63		154.41	0.00168	1.56	1.71	2.7	0.63
C1	24.05	TR 50	2.67	153.64	154.28	0.64		154.4	0.001667	1.56	1.72	2.7	0.62
C1	20.25	TR 50	2.67	153.63	154.22	0.59	154.12	154.39	0.002522	1.82	1.47	2.5	0.76

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

ING. NELSON JAVIER CELY CALIXTO
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental
Magíster en Obras Hidráulicas o Recursos Hídricos
DOCTOR EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

River	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Lámina	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
C1	10.2		Bridge										
C1	0.3	TR 50	2.67	153.59	154.08	0.49	154.08	154.32	0.004271	2.17	1.23	2.5	0.99
C1	0	TR 50	2.67	153.59	154.08	0.49	154.08	154.32	0.004393	2.2	1.22	2.5	1.01

Oficina 1: Edificio Fundadores 308 Dpto. de Construcciones Civiles, Hidráulica y Fluidos -UFPS.
Oficina 2: Maz. 4 Lt. 14 Urbanización Las Américas. Tel: 596060 - Cel: 3182491773.
E-mail: nelsoncely2006@hotmail.com – nelsoncely2006@gmail.com

CARTA DE CESION DE DERECHOS

Yo, NELSON JAVIER CELY CALIXTO, identificado con cedula de ciudanía No. 88.248.537 expedida en Cúcuta N.T.S, en mi condición de Ingeniero Civil portador de la matrícula Profesional No. 54202-136452 NTS, por medio del presente cedo plenamente los derechos a la entidad de la Alcaldía de Arauquita el diseño hidráulico e hidrológico del proyecto "**AMPLIACIÓN DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ARAUQUITA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".**

La duración de los derechos cedidos será por término indefinido por un acuerdo en concreto entre ambas partes a partir de la fecha en que se firme la presente carta de cesión de derechos.

Se expide a solicitud del interesado, a los cinco (05) días del mes de junio del 2026.

NELSON JAVIER CELY CALIXTO
M.P. 54202-136452 NTS
Prof. Ingeniero Civil
Ingeniero Civil – Esp. En aguas y Saneamiento Básico

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD CIVIL

Yo, NELSON JAVIER CELY CALIXTO, identificado con Cedula de Ciudanía No. 88.248.537 expedida en Cúcuta N.T.S en mi condición de Ingeniero Civil portador de la matrícula Profesional M.P. 54202-136452 NTS, por medio del presente certifico que realicé el diseño hidrológico de acuerdo a las Normas Vigentes al proyecto "AMPLIACIÓN DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ARAUQUITA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA", Por lo anterior, manifiesto ceder plenamente los derechos a la Alcaldía de Cubará.

La duración de los derechos cedidos será por término indefinido a partir de la fecha de la firma del presente memorial de responsabilidad civil.

Para los fines pertinentes, anexo copia de mi Tarjeta o Matrícula Profesional, certificado de vigencia de la misma y copia de la cédula de ciudadanía.

En constancia, asumo toda la responsabilidad referente a lo anteriormente mencionado.

Se expide a solicitud del interesado, a los cicno (05) días del mes de junio del 2026.

NELSON JAVIER CELY CALIXTO
M.P. 54202-136452 NTS
Ingeniero Civil – Esp. En aguas y Saneamiento Basico

CÉDULA DE CIUDADANÍA

REPÚBLICA DE COLOMBIA



NUIP 88.248.537

Apellidos
CELY CALIXTO

Nombres
NELSON JAVIER

Nacionalidad
COL

Estatura
1.67

Sexo
M

Fecha de nacimiento
08 ENE 1981

G.S.
A+

Lugar de nacimiento
CUCUTA (NORTE DE SANTANDER)

Fecha y lugar de expedición
01 MAR 1999, CUCUTA

Firma

Fecha de expiración
07 ENE 2032

.CO

001589782

REGISTRADOR NACIONAL
Alexander Vega Rocha

ICCOL001589782425001<<<<<<<<<<<
8101084M3201071COL88248537<<<1
CELY<CALIXTO<<NELSON<JAVIER<<<

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

5420213645 2NTS

INGENIERO CIVIL

DE FECHA **19/10/2006**

NELSON JAVIER

CELY CALIXTO

C.C. 88248537

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

PRESIDENTE DEL CONSEJO

República Bolivariana de Venezuela

Mario Bonucci Rossini

Rector de la

Universidad de Los Andes

De acuerdo con la autoridad que le otorga la Ley, y por cuanto

Nelson Javier Cely Calixto

con Cédula de Identidad Nº V.84.278.291 o Pasaporte Nº CC 88248537

nacido en Cúcuta Colombia el 8 de Enero de 1981

ha cumplido y aprobado satisfactoriamente los estudios y demás requerimientos establecidos en el programa académico respectivo, le confiere el grado de

Magíster Scientiae

en

Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras

Mención: Obras Hidráulicas

Dado en la ciudad de Mérida a los veintidos días del mes de Febrero de dos mil trece Años 202 de la Independencia y 154 de la Federación.

El Decano Oscar Camacho

El Rector

El Secretario

Inscrito Folio: 480

Tomo: VII

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
VENEZUELA

República Bolivariana de Venezuela
Registro Principal del

De de 2

Años: . Quedó registrado bajo el

Nº , Folio , Tomo , Trimestre

Protocolo Principal y Duplicado. Derechos de registro

Bs. , Planilla Nº , Doy Fe

El Registrador Principal



UNIVERSIDAD MANUELA BELTRÁN

UMB

PERSONERÍA JURÍDICA RESOLUCIÓN No. 4974 DEL 29 DE DICIEMBRE DE 2004
DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

EL SEÑOR RECTOR DE ACUERDO A LO DISPUESTO EN EL ARTÍCULO
24 DE LA LEY 30 DEL 29 DE DICIEMBRE DE 1992 Y CONFORME A SUS FACULTADES
ESTATUTARIAS, CONFIERE A:

Nelson Javier Cely Calixto

C.C. 88248537 de Cúcuta

EL TÍTULO DE

Especialista en Aguas y Saneamiento Ambiental

POR HABER CUMPLIDO CON TODOS LOS REQUISITOS ACADÉMICOS Y LEGALES.

EN TESTIMONIO DE ELLO EXPIDE, FIRMA Y SELLA EL PRESENTE DIPLOMA

EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.

A LOS 18 DÍAS DEL MES Mayo DE 2018

RECTOR

DIRECTOR REGISTRO Y CONTROL ACADÉMICO

SECRETARIO GENERAL

DIRECTOR DE PROGRAMA

Libro de Registro No. 26
Acta de Grado No. 338
Folio No. 466
Registro Profesional No. 029979

05684

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4736640

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que NELSON JAVIER CELY CALIXTO, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 88248537, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 54202-136452 desde el 19 de Octubre de 2006, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 517.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los diez (10) días del mes de Septiembre del año dos mil veintiseis (2026).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firma del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.