ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA
MUNICIPIO DE GACHETÁ

AGOSTO 2025

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 4
LOCALIZACIÓN GENERAL 5
MARCO TEORICO 6
Análisis hidrológicos. 6
Análisis Hidráulicos. 7
ANALISIS HIDROLÓGICO 7
Alcance 7
Recopilación de información existente 8
DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE LAS LLUVIAS EN LAS ZONAS DEL PROYECTO (mm/h) 8
Identificación de las estaciones meteorológicas representativas. 8
Cálculo de la intensidad de la lluvia. 10
Estación Ubalá (35060180) 10
Curvas Intensidad Duración Frecuencia IDF 11
Curvas IDF con precipitaciones de la Estación Ubalá. 14
Cartografía 15
Área de drenaje 16
Información satelital 16
Coeficiente de Escorrentía 17
Periodos de Retorno 18
ESTUDIO HIDRÁULICO 21
Alcance 21
Cálculo de obras menores 21
Obras de Drenaje Transversal tipo Box Culvert. 21
Cálculo de capacidad hidráulica EDT. 22
EDT No 1 23
Condición existente 23
Análisis Hidráulico ODT 01 25
Detalle estructura Propuesta 27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1, Localización general de las obras Fuente: Google Earth. 5
Figura 2, Localización de la estación representativa Fuente: Elaboración propia con información del IDEAM 9
Figura 3, Precipitación máxima Multianual 24 h Estación Ubalá. Ubalá Cmarca 11
Figura 4, Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d. 13
Figura 5, Curvas IDF para estación Ubalá Fuente: Elaboración propia con información de IDEAM. 15
Figura 6, Modelo Digital de Elevación Fuente: Propia. - ALOS PALSAR DEM 12.5x12.5 16
Figura 7, Área de Drenaje Fuente: Propia. 17
Figura 8. Planta, Perfil y Detalles del Box Culvert propuesto. 29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Obra de Drenaje Transversal. 5
Tabla 2. Ficha técnica de la estación de interés. 8
Tabla 3. Valores Máximos de Precipitación en 24 Horas Estación Ubalá – Ubalá Cmarca 10
Tabla 4, Coeficientes de regionalización para curvas IDF (INVIAS, 2009) 13
Tabla 5. Resultados de valores de intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno Estación Ubalá. 14
Tabla 6. Área de microcuenca de interés. 17
Tabla 7. Valores de coeficientes de escorrentía para zonas rurales 18
Tabla 8. (Tabla 2.8 – del Manual de INVIAS) que relaciona tipo de obra con el periodo de retorno de diseño. 19
Tabla 9. Coeficientes de Manning propuestos por Kutter. 20
Tabla 10. Velocidades máximas (INVIAS, 2009) 20

INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países más húmedos del planeta, con una gran riqueza hídrica reflejada en el régimen de lluvias de tipo bimodal y/o unimodal. Los promedios de precipitación superiores a 2000 mm/año casi en la totalidad de su territorio, lo llevan a ocupar el cuarto lugar en el mundo en cuanto a disponibilidad de agua después de Rusia, Canadá y Brasil. Esta condición implica que las carreteras se encuentren sometidas de manera frecuente a la acción del agua lluvia y que deban atravesar o bordear numerosos cursos de agua. Así mismo, dada la distribución de la población en el país, buena parte de la red vial nacional transcurre en terrenos montañosos, donde el agua subterránea afecta con frecuencia la estabilidad de los taludes y debilita los suelos que soportan los pavimentos. Esta combinación de circunstancias hace especialmente necesarios el diseño y la construcción de sistemas de drenaje de cuya eficacia dependerá, en buena medida, la calidad de la operación vial y la vida útil de las carreteras nacionales.

En el presente documento se describen los análisis hidrológicos y memorias de cálculo hidráulico realizados con el objeto de calcular las obras de drenaje de los tramos viales objeto de revisión.

Todos los cálculos presentados tienen como marco teórico y técnico, los criterios presentados en el manual de drenaje de carreteras de INVIAS, la guía de diseño de pavimentos con placa huella y la guía obras menores de drenaje y estructuras viales del programa Colombia Rural, tanto el componente hidrológico como los cálculos hidráulicos de diseño.

En primer lugar, se realizó una caracterización del comportamiento de las precipitaciones en el sector, una descripción general de la zona de estudio y el estudio hidrológico que determinó las áreas aferentes correspondientes a cada obra de drenaje y su respectivo caudal de diseño.

Como segundo procedimiento se realizaron las memorias de cálculo hidráulico y el dimensionamiento y verificación de las estructuras de drenaje existentes, y por último se presentan las conclusiones y observaciones que deben ser consideradas para el desarrollo del proyecto.

LOCALIZACIÓN GENERAL

Gachetá es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca ubicado en la Provincia del Guavio, de la cual es capital. Cuenta con 11.000 habitantes aproximadamente, de los cuales el 70% viven en la zona rural. Se encuentra a 99 km al oriente de Bogotá. El municipio de Gachetá está dividido en catorce veredas: Moquentivá, Salinas, Tasajeras, Zaque, Muchindote, Bombita, Cusaquín, Resguardo I y II, Villa, Tuala, Eras, Yerbabuena y Hatogrande

Las obras objeto de análisis se encuentras localizadas en las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Obra de Drenaje Transversal.

TIPO DE OBA	LOCALIZACION
ODT 01 Vereda Hato Grande Sector San Antonio	4°48'25.06"N 73°34'26.47"O



Figura 1, Localización general de las obras
Fuente: Google Earth.

MARCO TEORICO

El componente teórico del informe consta de dos fases siguiendo la metodología propuesta por el INVIAS, el análisis hidrológico y el diseño hidráulico. A continuación, se presenta la lista de procesos incorporados a las dos fases del presente estudio:

Análisis hidrológicos.

- Objeto y localización del proyecto. El informe describe el objeto del proyecto y su localización utilizando un mapa ilustrativo de la zona.
- Alcance del análisis. Se describen los alcances y objetivos del análisis.
- Recopilación y análisis de la información existente. El análisis contiene una relación de la información existente, recopilando todo lo referente a estudios previos que aportan un conocimiento.
- Metodología. Aquí se analiza la información previa y se describe la forma como se programó el trabajo de cada uno de los capítulos, teniendo en cuenta los objetivos, datos, actividades y resultados a obtener.
- Cartografía. Para el desarrollo del estudio es fundamental la información cartográfica; por lo tanto, en el informe final se presenta el resumen del procesamiento de dicha información, plasmada en mapas de adecuada escala dependiendo de la magnitud del proyecto.
- Análisis de lluvias y climatológico. Con base en la información de precipitación y los registros climatológicos obtenidos en el IDEAM, el documento incluye un análisis de los registros precipitación de cantidad e intensidad que permita dar valores de tipo local y regional, para conocer el comportamiento espacial y temporal del fenómeno.
- Análisis de caudales. Los caudales de drenaje de diseño para los diferentes periodos de retorno se analizaron, aplicando métodos indirectos convencionales.
- Aplicación de las teorías y métodos de predicción. Se presentan las distribuciones de frecuencia más adecuadas para los análisis de los fenómenos de lluvia, caudal, etc., indicando el método de predicción finalmente adoptado. Esta labor es de gran importancia, puesto que cuantifica un fenómeno que incide directamente en el dimensionamiento de las obras.

Análisis Hidráulicos.

Su finalidad es el diseño de estructuras de capacidad apropiada, utilizando los caudales generados en el estudio hidrológico. Las estructuras pueden ser de desvío, control, protección, remoción o de cruce bajo una vía. El informe contiene la siguiente información:

- Obras menores. El informe contiene el tipo de funcionamiento hidráulico en los aspectos de control de entrada y salida; su eficiencia, altura, longitud y posición con respecto al proyecto vial.

Se presentan, en forma clara, las conclusiones relevantes del análisis, así como las recomendaciones que deberán ser consideradas durante la construcción de las obras, con el fin que las modificaciones ocasionadas por las obras no alteren las hipótesis de diseño o generen daños ambientales posteriores no previstas en el documento.

ANALISIS HIDROLÓGICO

Alcance

EL análisis hidrológico tiene como alcance principal la determinación de los caudales pico máximos en las obras de drenaje, de conformidad con los periodos de retorno adoptados por en el Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS 2009) y la Guía de diseño de pavimentos en placa huella publicados por el Instituto, para esto se realizarán los siguientes cálculos:

1. Recopilación de información cartográfica y climatológica.
2. Delimitación de áreas aferentes de drenaje.
3. Cálculo de intensidades de lluvia (curvas IDF) para diferentes periodos de retorno.
4. Determinación de Coeficientes de escorrentía (Si aplica) según uso y tipo de suelo de la zona.
5. Cálculo de caudales máximos para cada área aferente identificada.

Recopilación de información existente

Para llevar a cabo el estudio hidrológico se procesó información para la identificación de las áreas de drenaje, comprendiendo así el comportamiento del mismo, realizando los respectivos cálculos que permitieron determinar los caudales de diseño de las obras hidráulicas.

DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE LAS LLUVIAS EN LAS ZONAS DEL PROYECTO (mm/h)

Con el propósito de determinar la intensidad de las lluvias en la zona del proyecto, se recopiló la información representativa disponible, a tal efecto, y con el fin de describir el régimen de lluvias, se adquirió información de registros históricos de una estación pluviométrica convencional, que registran en milímetros las precipitaciones.

Identificación de las estaciones meteorológicas representativas.

Para el análisis de precipitación, se toman datos históricos registrados en serie de la estación Pluviométrica del IDEAM Ubalá –35060180 ubicada en el municipio de Ubalá, departamento de Cundinamarca, con una distancia aproximada de 7.9 kilómetros al centro de gravedad del proyecto.

Tabla 2. Ficha técnica de la estación de interés.

Catalogo Nacional de Estaciones: UBALA [35060180]	
Código	35060180
Nombre	UBALA [35060180]
Categoría	Pluviométrica
Longitud	-73,53
Latitud	4,75
Altitud	1.929,00
Departamento	Cundinamarca
Municipio	Ubalá
Estado	Activa
Tecnología	Convencional
Fecha de Instalación	Agosto 15, 1959
Fecha de Suspensión	

A continuación, se presenta la ubicación de esta estación con respecto a la zona de estudio.

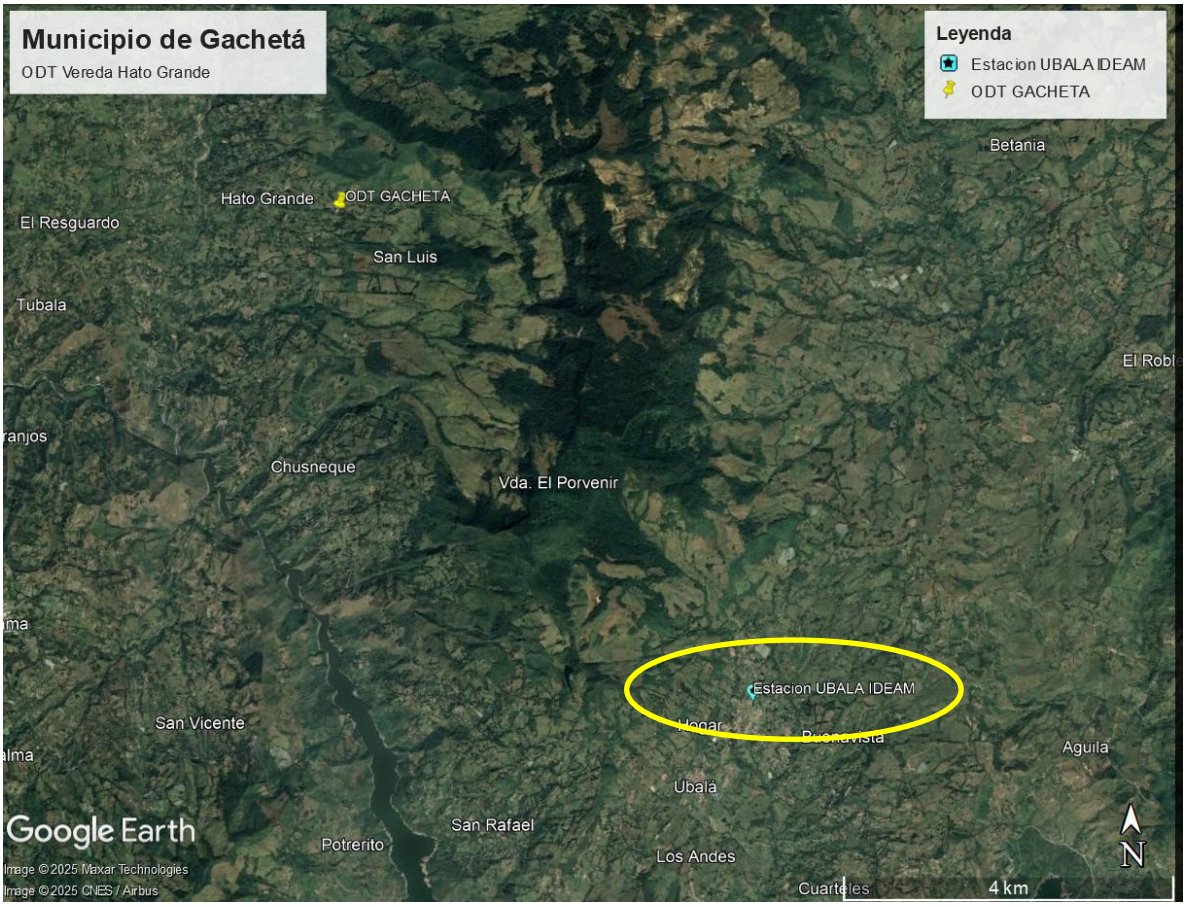


Figura 2, Localización de la estación representativa
Fuente: Elaboración propia con información del IDEAM

Cálculo de la intensidad de la lluvia.

Para el cálculo de la intensidad de la lluvia, se aplica la metodología descrita en la guía de diseño de pavimentos con placa huella del INVIAS, la cual establece el siguiente procedimiento:

1. Identificar, para cada año de la serie histórica, el valor máximo de precipitación registrado en veinticuatro (24) horas.

2. Se calcula la intensidad de la lluvia para diferentes duraciones de aguacero y para cada año de la serie histórica. Generalmente se utilizan duraciones de aguacero de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos.

3. Aplicar los valores de los periodos de retorno (T) recomendados en el Manual de Drenaje Vial del INVIAS 2009.

Estación Ubalá (35060180)

A continuación, se presenta el resultado del análisis llevado a cabo para los valores de precipitación máxima en 24 horas para la Estación IDEAM Ubalá, localizada en el municipio de Ubalá departamento de Cundinamarca.

ESTACION UBALÁ - 35060180
UBALÁ - CUNDINAMARCA
Lat 4°45'8.60"N, Long 73°31'42.90"O, Alt 1.929 msnm
VALORES MAXIMOS DIARIOS MENSUALES DE PRECIPITACION

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX
2000	26.00	18.00	36.20	23.50	42.00	30.00	44.70	52.00	36.00	40.00	41.00	24.00	**52.00**
2001	7.20	14.80	17.50	22.00	40.30	42.00	49.80	19.50	34.30	33.50	52.50	20.50	**52.50**
2002	6.60	6.30	43.00	30.00	91.50	41.30	42.00	28.00	37.00	38.00	18.00	10.00	**91.50**
2003	0.10	20.40	39.20	21.60	57.00	33.20	23.00	45.00	42.00	33.60	29.00	20.50	**57.00**
2004	9.00	44.20	49.20	25.60	44.00	39.00	32.50	43.20	21.50	21.70	18.50	26.50	**49.20**
2005	12.00	43.30	67.00	41.00	66.50	37.00	32.00	30.00	27.23	59.30	31.60	1.60	**67.00**
2006	35.00	7.00	40.20	42.00	43.50	29.70	38.00	24.50	22.70	31.20	32.30	24.60	**43.50**
2007	1.10	32.00	50.40	74.90	34.30	35.40	18.50	35.50	33.40	32.70	30.95	19.90	**74.90**
2008	10.50	8.80	16.20	37.35	26.40	37.30	38.00	41.20	35.90	34.70	29.00	0.30	**41.20**
2009	11.80	12.90	31.60	33.50	24.70	29.20	33.20	33.50	15.50	17.90	25.00	13.80	**33.50**
2010	2.40	22.20	33.50	32.50	39.00	63.00	36.00	33.86	13.70	23.80	65.00	22.50	**65.00**
2011	30.20	17.60	24.50	23.50	33.60	42.00	29.00	21.50	27.23	33.00	21.00	10.60	**42.00**
2012	12.50	24.40	44.50	44.10	37.00	33.50	35.80	26.50	7.60	19.00	38.00	29.50	**44.50**
2013	0.30	21.50	24.20	34.00	62.00	42.50	29.20	18.40	18.00	21.00	25.50	14.50	**62.00**
2014	8.50	45.50	9.50	37.00	21.00	48.00	32.00	32.00	19.00	15.50	17.50	28.30	**48.00**
2015	38.00	12.00	38.50	18.50	31.50	27.00	28.50	34.50	22.00	9.00	43.70	8.50	**43.70**
2016	0.50	8.50	11.30	28.00	26.00	15.00	9.00	34.50	15.00	10.50	26.50	10.20	**34.50**
2017	15.50	32.00	32.40	25.50	76.50	48.50	39.50	24.40	19.50	31.40	28.30	9.90	**76.50**
2018	21.40	8.50	24.50	66.50	41.90	45.20	33.50	48.90	19.00	32.00	15.50	4.50	**66.50**
2019	16.50	3.30	36.00	41.50	37.90	60.00	38.90	32.00	35.20	34.60	18.20	8.30	**60.00**
2020	10.90	5.60	62.30	47.30	53.70	36.20	46.10	21.80	32.00	21.20	32.00	26.80	**62.30**
2021	19.70	23.90	37.50	67.40	45.80	41.40	29.80	46.50	48.90	42.30	26.90	6.70	**67.40**
2022	10.50	27.00	27.60	29.70	54.00	31.20	39.20	49.40	24.70	31.50	45.50	11.00	**54.00**
2023	59.00	8.50	36.00	36.90	29.70	54.80	49.20	37.30	45.80	12.70	31.50	22.70	**59.00**
2024	3.50	38.60	19.30	37.80	57.30	59.20	25.80	32.50	27.60	36.70	30.80	17.80	**59.20**
2025	17.40	27.80	37.30	49.40	32.80	40.50	64.20						**64.20**
MAXIMO	**59.00**	**45.50**	**67.00**	**74.90**	**91.50**	**63.00**	**64.20**	**52.00**	**48.90**	**59.30**	**65.00**	**29.50**	**91.50**
MEDIO	**14.85**	**20.56**	**34.21**	**37.35**	**44.23**	**40.08**	**35.28**	**33.86**	**27.23**	**28.67**	**30.95**	**15.74**	**56.58**
MINIMO	**0.10**	**3.30**	**9.50**	**18.50**	**21.00**	**15.00**	**9.00**	**18.40**	**7.60**	**9.00**	**15.50**	**0.30**	**33.50**

Tabla 3. Valores Máximos de Precipitación en 24 Horas Estación Ubalá – Ubalá Cmarca

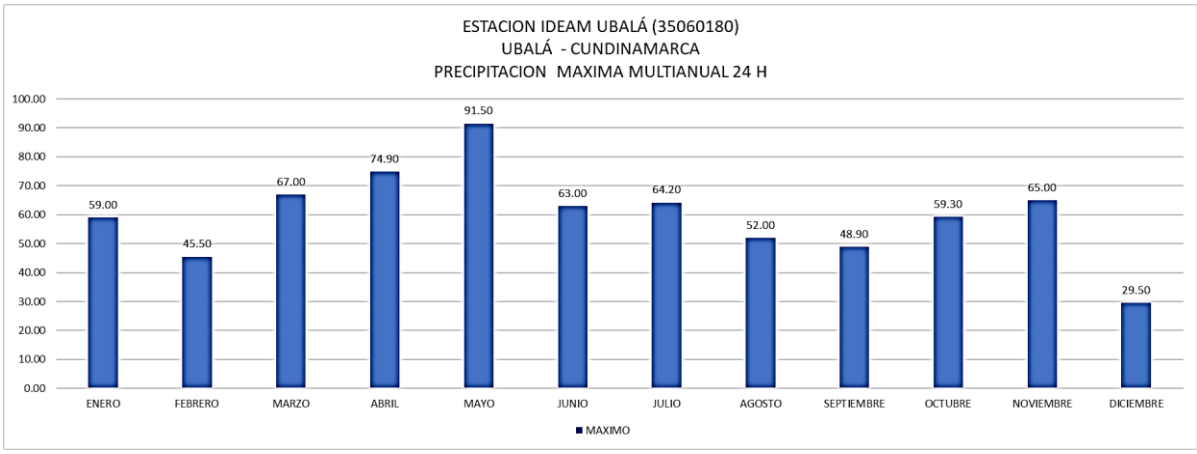


Figura 3, Precipitación máxima Multianual 24 h Estación Ubalá. Ubalá Cmarca

Las precipitaciones máximas históricas alcanzan valores de 91.5 mm y 74.90 mm en los meses de abril y mayo respectivamente.

Curvas Intensidad Duración Frecuencia IDF

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno.

Para la obtención de las curvas IDF de la zona en estudio, se empleó la metodología de regionalización de curvas IDF sintéticas para Colombia, la cual fue propuesta por el profesor Mario Díaz Granados (Universidad de los Andes, 1998). Este procedimiento permite determinar las curvas IDF a partir de información de lluvias máximas diarias, para lo cual divide el territorio nacional en cinco grandes zonas o regiones climatológicas: Andina, Caribe, Pacifico, Orinoquia y Amazonia. Este procedimiento es aplicable para periodos de retorno entre 2 y 100 años, y lluvias con duraciones entre 5 y 360 minutos.

La anterior metodología se encuentra descrita en el Manual de drenaje (INVIAS 2009) y corresponde a la metodología simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia.

El estudio de los eventos extremos de precipitación mediante las curvas de intensidad – duración – frecuencia (IDF), es una de las principales herramientas para la estimación de tormentas de diseño

en el cálculo de caudales máximos de diseño, asociadas a un cierto período de retorno o nivel dado de probabilidad de no excedencia. La metodología tradicional para estimar las curvas IDF considera que los cuantiles de igual probabilidad están determinísticamente ligados por una expresión empírica. Puesto que, en la mayoría de los casos, no se dispone de datos de precipitación suficientes, habitualmente se recurre a fórmulas empíricas para la estimación de las curvas IDF, estimando los valores de los parámetros correspondientes al lugar de interés.

En este caso, para la obtención de las curvas IDF de la zona en estudio, se empleó, tal y como se mencionó anteriormente, la metodología de regionalización de curvas IDF sintéticas para Colombia, la cual fue propuesta por el profesor Mario Díaz Granados (Universidad de los Andes, 1998). Este procedimiento permite determinar las curvas IDF a partir de información de lluvias máximas diarias, para lo cual divide el territorio nacional en cinco grandes zonas o regiones climatológicas: Andina, Caribe, Pacifico, Orinoquia y Amazonia. Este procedimiento es aplicable para periodos de retorno entre 2 y 100 años, y lluvias con duraciones entre 5 y 360 minutos.

El modelo empírico empleado por el profesor Granados es:

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

En donde i es la intensidad de la lluvia asociada a un período de retorno T y a una duración de la tormenta t; a, b, c y d son parámetros de las ecuaciones que dependen del período de retorno, así como de la localización de la estación.

La magnitud de la variable M corresponde al promedio de las precipitaciones máximas diarias a escala anual, la cual es determinada a partir de una estación de registro de precipitaciones.

En este caso se emplearon las constantes de regionalización reportadas para la Región Andina, según la tabla 2.12 del Manual de drenajes (INVIAS, 2009), las cuales se presentan en la tabla 2.

De acuerdo con el INVIAS (2009), las constantes a, b, c y d, corresponden a los coeficientes para el cálculo de las curvas de intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia, y dependen de la región, estos coeficientes se reportan con la siguiente tabla:

Tabla 4, Coeficientes de regionalización para curvas IDF (INVIAS, 2009)

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

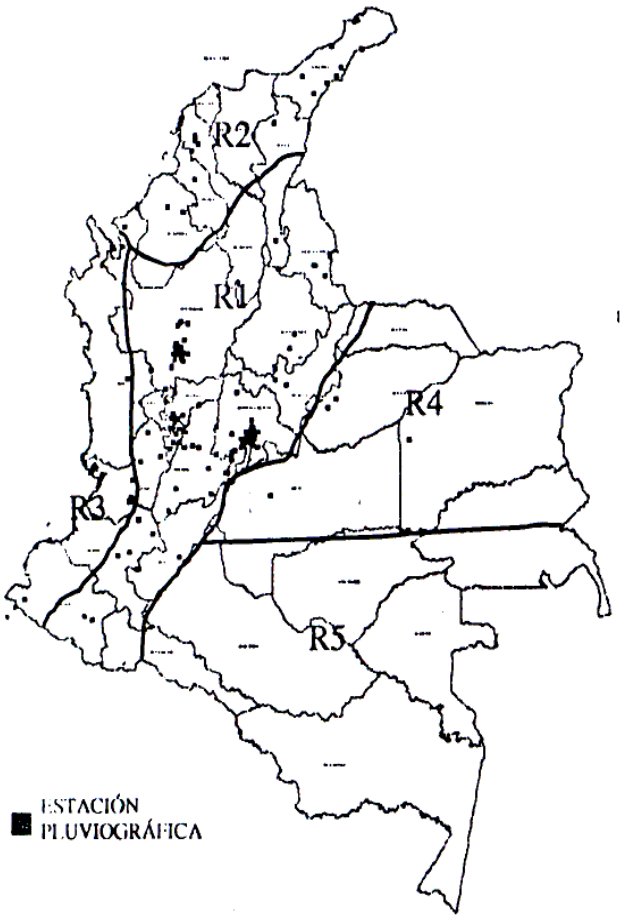


Figura 4, Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d.

Fuente: INVIAS, 2009

Curvas IDF con precipitaciones de la Estación Ubalá.

Se realizó el cálculo de las diferentes intensidades para la curva IDF, de la estación Ubalá, con las variables obtenida a través de la metodología propuesta.

Tabla 5. Resultados de valores de intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno Estación Ubalá.

Duración de la lluvia	Intensidad (mm/hr)					
	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
5	156.42	184.46	208.98	236.75	279.20	316.30
10	98.99	116.74	132.26	149.83	176.70	200.18
15	75.75	89.33	101.20	114.65	135.21	153.18
20	62.65	73.88	83.70	94.83	111.83	126.69
25	54.07	63.77	72.24	81.84	96.51	109.34
30	47.94	56.54	64.05	72.56	85.57	96.94
35	43.30	51.07	57.85	65.54	77.29	87.57
40	39.65	46.76	52.97	60.01	70.77	80.18
45	36.68	43.26	49.01	55.52	65.48	74.18
50	34.22	40.36	45.72	51.79	61.08	69.20
55	32.13	37.90	42.93	48.64	57.36	64.98
60	30.34	35.78	40.54	45.92	54.16	61.35
65	28.78	33.94	38.45	43.56	51.37	58.20
70	27.41	32.32	36.61	41.48	48.92	55.42
75	26.19	30.88	34.98	39.63	46.74	52.95
80	25.09	29.59	33.53	37.98	44.79	50.74
85	24.11	28.43	32.21	36.49	43.03	48.75
90	23.22	27.38	31.02	35.14	41.44	46.95
95	22.40	26.42	29.93	33.91	39.99	45.30
100	21.66	25.54	28.93	32.78	38.66	43.79
105	20.97	24.73	28.02	31.74	37.43	42.41
110	20.34	23.98	27.17	30.78	36.30	41.12
115	19.75	23.29	26.39	29.89	35.25	39.94
120	19.20	22.65	25.65	29.06	34.27	38.83
125	18.69	22.04	24.97	28.29	33.36	37.80
130	18.21	21.48	24.33	27.57	32.51	36.83
135	17.77	20.95	23.74	26.89	31.71	35.93

Constantes de regionalización	
Zona	R1
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83
M	**56.58**

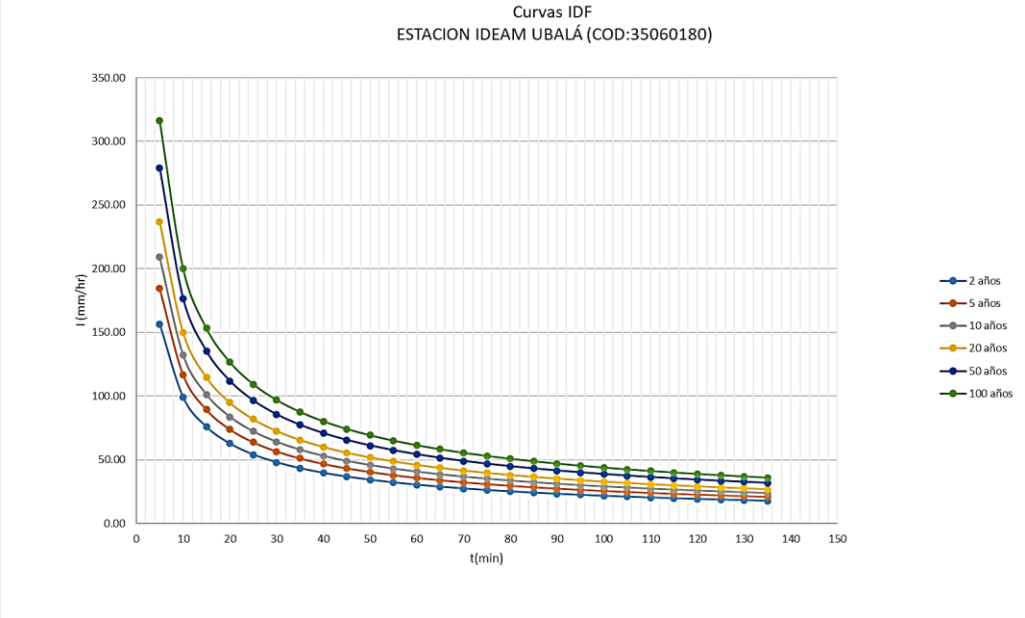


Figura 5, Curvas IDF para estación Ubalá
Fuente: Elaboración propia con información de IDEAM.

Cartografía

Se empleó cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000, en la base de datos espacial disponible desde la página oficial del IGAC para su descarga. Se cuenta la red hídrica y las curvas de nivel que permitirán evaluar la condición del flujo de las aguas en la zona.

De igual manera, se emplearon los Modelos Digitales de Elevación del terreno ALOS-PALSAR, disponibles en el link https://search.asf.alaska.edu/#/.

Área de drenaje

Información satelital

Por medio del satélite ALOS PALSAR obtuvimos el modelo de elevación digital, el cual se encuentra en la página de la NASA.

Con el modelo de elevación digital, y mediante el uso de herramientas computarizadas del programa QGIS, se logra identificar cada uno de los drenajes que se encuentran dentro de la vía, es decir los puntos críticos. que deben ser tenidos en cuenta para los cálculos hidráulicos de las obras de drenaje.

De igual manera, para efectos de determinar el área de drenaje en taludes, se aplicará la recomendación de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella -INVIAS.

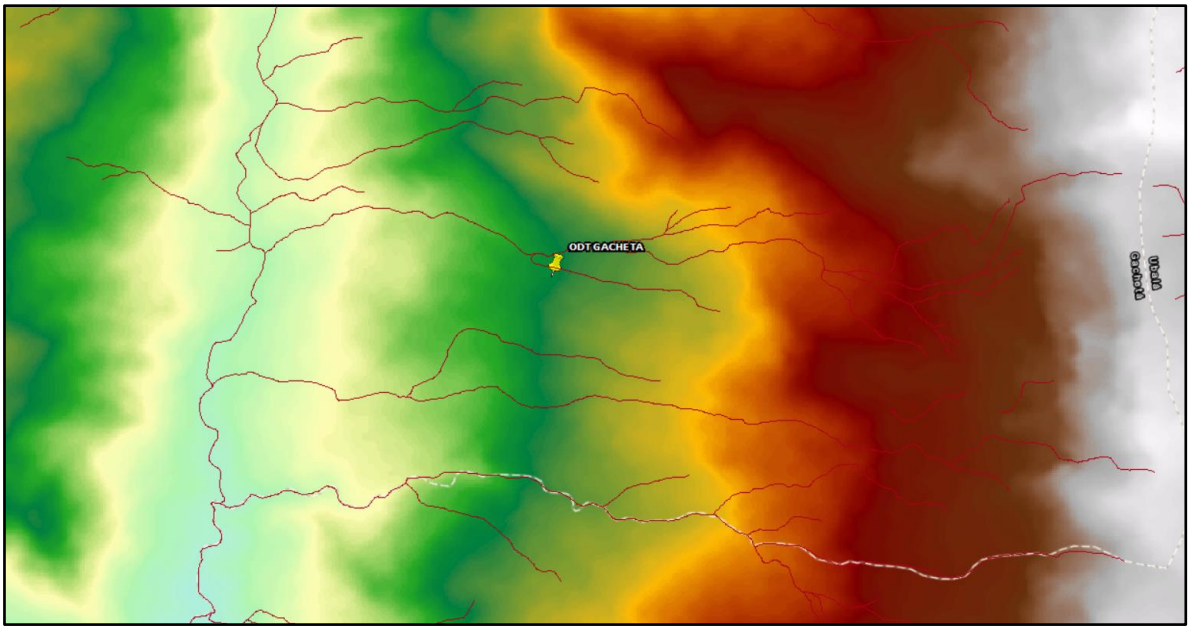


Figura 6, Modelo Digital de Elevación
Fuente: Propia. - ALOS PALSAR DEM 12.5x12.5

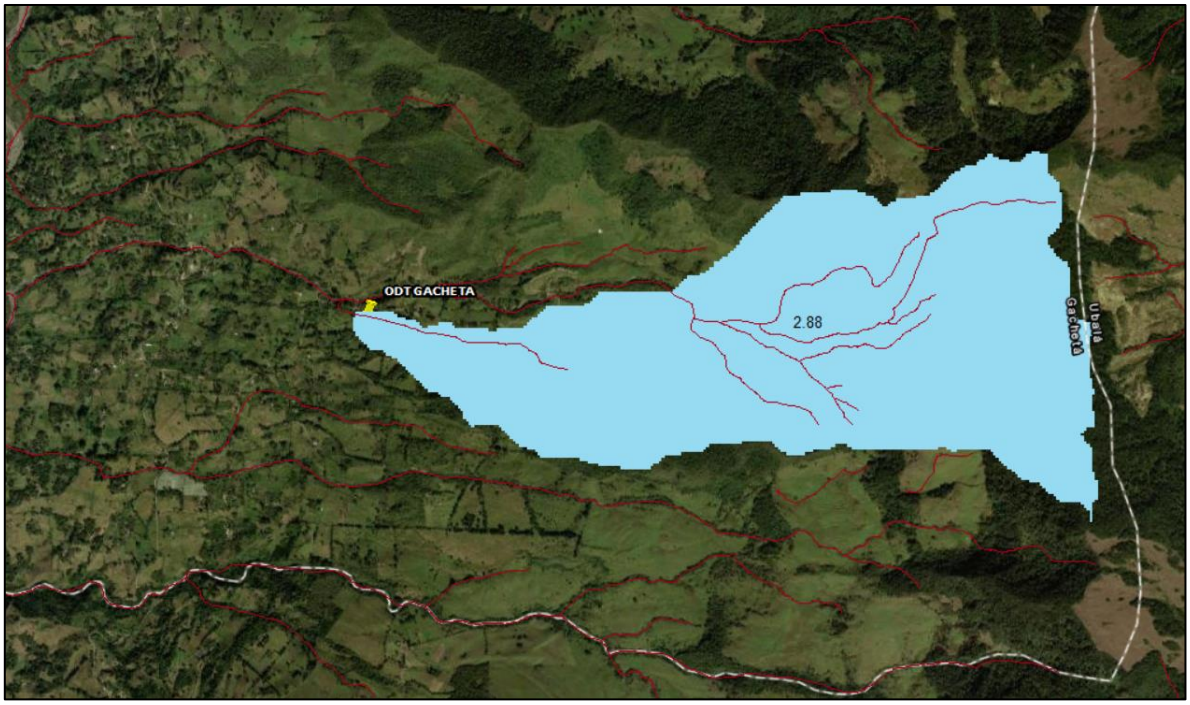


Figura 7, Área de Drenaje
Fuente: Propia.

Las áreas de las microcuencas calculadas se encuentran descritas en el siguiente cuadro.

Tabla 6. Área de microcuenca de interés.

Microcuenca 1	
Area Km2	2.88
Cota Aguas Arriba	3030
Cota Aguas Abajo	2057
Delta	973
Pendiente	0.21097138

Coeficiente de Escorrentía

EL coeficiente de escorrentía C, es un valor adimensional, el cual se puede definir como la relación entre el volumen de escorrentía superficial, VE, y el volumen de precipitación total, Vp, ambos

expresados en m^3. En las siguientes tablas se presenta la clasificación realizada teóricamente para los posibles valores del coeficiente de escorrentía, según el manual (INVIAS, 2009).

Tabla 7. Valores de coeficientes de escorrentía para zonas rurales

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Fuente: INVIAS, 2009.

Periodos de Retorno

Las obras hidráulicas requieren un periodo de retorno para el cual se diseñan, para así garantizar su óptimo funcionamiento con una probabilidad de ocurrencia dada. El INVIAS, establece unos periodos de diseño Se realiza el diseño considerando el diámetro mínimo recomendado por INVIAS de 90 cm o 36”. Así se considera emplear un periodo de retorno de 1 vez en 10 años, según los lineamientos del Manual (INVIAS, 2009).

Tabla 8. (Tabla 2.8 – del Manual de INVIAS) que relaciona tipo de obra con el periodo de retorno de diseño.

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

Para las Obras de drenaje Transversal, se establece que el material a emplear es concreto, para las alcantarillas circulares y de cajón nuevas, el cual presenta una rugosidad de Manning de 0.014 para un concreto de terminación ordinaria, según los coeficientes propuestos por Kutter. Las cunetas también consideran un revestimiento en concreto, por lo cual se emplea el mismo valor de rugosidad de Manning.

Tabla 9. Coeficientes de Manning propuestos por Kutter.

Descripción	*n*
Mampostería de piedra bruta	0.020
Mampostería de piedras rectangulares	0.017
Mampostería de ladrillos, sin revestido	0.015
Mampostería de ladrillo, revestida	0.012
Canales de concreto, terminación ordinaria	0.014
Canales de concreto, con revestimiento liso	0.012
Canales con revestimiento muy liso	0.010
Canales de tierra en buenas condiciones	0.025
Canales de tierra con plantas acuáticas	0.035
Canales irregulares y muy mal conservados	0.040
Conductos de madera cepillada	0.011
Barro (vitrificado)	0.013
Tubos de acero soldado	0.011
Tubos de concreto	0.013
Tubos de hierro fundido	0.012
Tubos de asbesto cemento	0.011

Fuente: Arturo Rocha

La pendiente de las obras de drenaje transversal debe encontrarse entre 0.5% y 5.0% según las recomendaciones del INVIAS, para el caso de análisis, se verifican en campo las pendientes de todas las alcantarillas.

Además de realizar el chequeo por capacidad se realiza el chequeo de velocidades en el cual se requieren velocidades de mínimo 1.0 m/s para evitar la sedimentación en las alcantarillas y las velocidades máximas, está definidas por la tabla a continuación (INVIAS, 2009).

Tabla 10. Velocidades máximas (INVIAS, 2009)

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

Se adopta una velocidad máxima permisible de 10 m/s, requiriendo un concreto con una resistencia a la compresión mínima de f'c = 210 kg/cm^2.

ESTUDIO HIDRÁULICO.

Alcance

En este capítulo se establecieron las dimensiones de las obras nuevas tipo Box Culvert, acorde a lo contenido en el manual (INVIAS, 2009) y la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella (INVIAS).

Cálculo de obras menores

Obras de Drenaje Transversal tipo Box Culvert.

A continuación, se presenta la localización y cálculos hidráulicos de las estructuras de drenaje transversal tipo Box Culvert:

Caudal de la microcuenca:

Tomando como base los parámetros establecidos, se realiza el cálculo de caudales de la microcuenca aferente al proyecto.

ECUACION	TC (Horas)	TC (Min)	# parametros	lamda	Tc*lamda
KIRPICH	0.3915	23.488	2.000	0.090909091	2.135
TEMEZ	0.5371	32.227	2.000	0.090909091	2.930
WILLIAMS	1.1718	70.309	4.000	0.181818182	12.783
JHONSTONE Y CROSS	1.4651	87.905	2.000	0.090909091	7.991
GIANDOTTI	0.5492	32.953	3.000	0.136363636	4.494
VENTURA	0.5330	31.981	2.000	0.090909091	2.907
CHOW	1.1948	71.689	2.000	0.090909091	6.517
US ARMY	1.2026	72.154	2.000	0.090909091	6.559
FAA	0.9895	59.37	3.000	0.136363636	8.096
	Tc Promedio =	**53.56**	**22.000**	**Tc Ponderado=**	**54.4132234**

i (Curv sintetica)	48.98	(mm/h)
i= (a * T^b * M^d)/ (t/60)^c		
Tc	54.41322343	min
M precip prom	56.58	mm
T periodo retorno	20	
a	0.94	tabla manual drenaje invias
b	0.18	
c	0.66	
d	0.83	
Coef escorrentia	0.42	
Area cuenca km 2	2.88	

CAUDALES	
TR (Años)	Q (m^3/seg)
2	10.88
5	12.83
10	14.54
20	16.47
50	19.42
100	22.01

Cálculo de capacidad hidráulica EDT.

Con el propósito de verificar la capacidad de las estructuras de drenaje existentes se realiza la verificación de la capacidad hidráulica de la misma.

Para determinar la capacidad hidráulica de las obras de drenaje transversal se emplea la Ecuación de Manning; teniendo en cuenta que se va a emplear concreto, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning es de 0.014, pendiente mínima de 2%.

Para el chequeo de la carga hidráulica en la sección de control (control de entrada). Se considera, según lo recomienda el INVIAS, un 20% adicional como carga de diseño.

Se deben verificar las siguientes condiciones:

- Yn < Yc
- Tw < Yc
- Hw/D < 1.20

A partir de los parámetros de entrada presentados anteriormente, se calculan los parámetros hidráulicos mediante la utilización del software HY-8, tomando como caudal el máximo obtenido en los cálculos hidrológicos realizados, obteniendo los siguientes resultados:

EDT No 1

Condición existente

Existía en el punto una estructura de paso conformada por troncos de madera, en tal sentido se debe diseñar una estructura de drenaje transversal que permita conducir el caudal de diseño y mantener la condición de estabilidad de la vía.

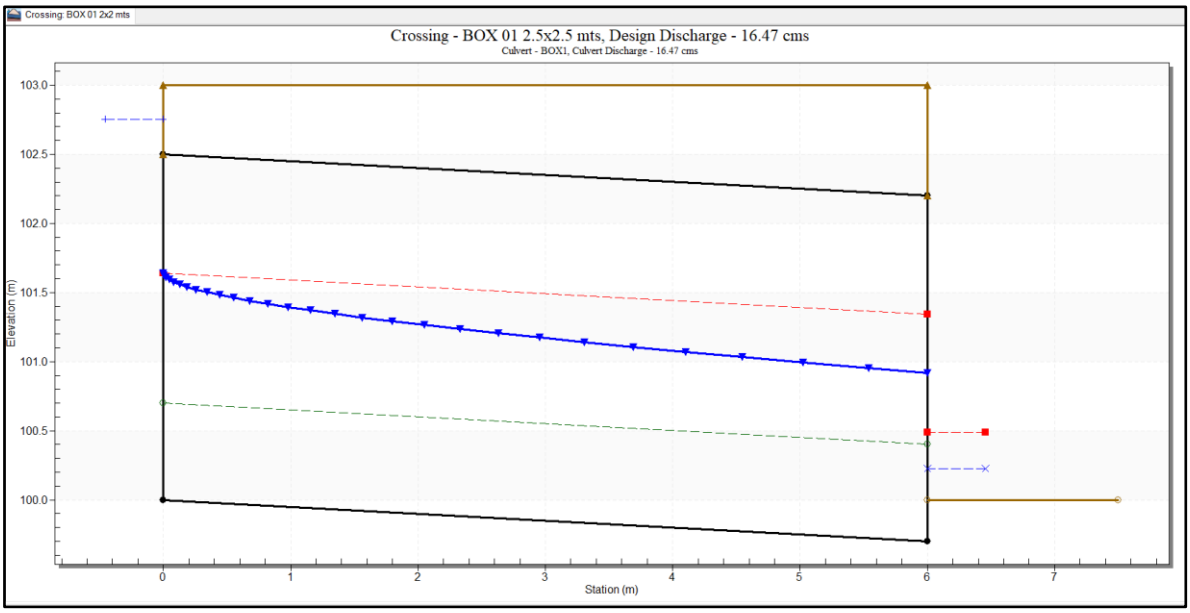






Análisis Hidráulico ODT 01

Con caudal de diseño de 16.47 m^3/seg equivalente al caudal para un periodo de retorno de 20 años, se realiza el cálculo hidráulico de la estructura de drenaje transversal necesaria, obteniendo los siguientes resultados:

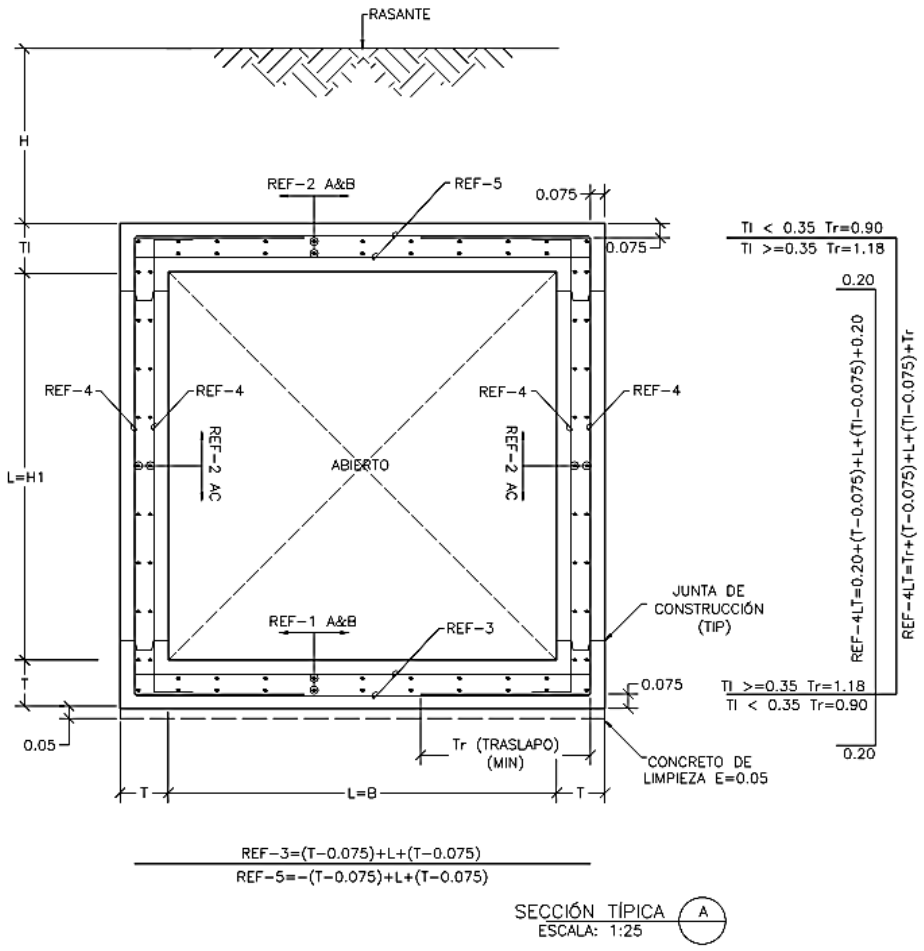


Total Discharge	Culvert Discharge	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	HW / D	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	100.00	0.00	0.0	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00
1.65	1.65	100.58	**0.58**	0.06	0.23	1-S2n	0.15	0.35	0.20	0.06	3.27	1.92
3.29	3.29	100.92	**0.92**	0.28	0.37	1-S2n	0.24	0.56	0.35	0.09	3.78	2.53
4.94	4.94	101.20	**1.20**	0.48	0.48	1-S2n	0.31	0.74	0.48	0.11	4.12	2.97
6.59	6.59	101.46	**1.46**	0.68	0.58	1-S2n	0.38	0.89	0.60	0.13	4.39	3.33
8.23	8.23	101.69	**1.69**	0.87	0.68	1-S2n	0.44	1.03	0.71	0.15	4.61	3.63
9.88	9.88	101.91	**1.91**	1.06	0.77	1-S2n	0.49	1.17	0.82	0.17	4.80	3.90
11.53	11.53	102.13	**2.13**	1.26	0.85	1-S2n	0.55	1.29	0.93	0.18	4.98	4.14
13.18	13.18	102.33	**2.33**	1.46	0.93	1-S2n	0.60	1.41	1.03	0.20	5.13	4.36
14.82	14.82	102.54	**2.54**	1.67	1.02	5-S2n	0.65	1.53	1.12	0.21	5.28	4.57
16.47	16.47	102.75	**2.75**	1.89	1.10	5-S2n	0.70	1.64	1.22	0.23	5.41	4.76

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	BOX1 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
100.00	0.00	0.00	0.00	1
100.58	1.65	1.65	0.00	1
100.92	3.29	3.29	0.00	1
101.20	4.94	4.94	0.00	1
101.46	6.59	6.59	0.00	1
101.69	8.23	8.23	0.00	1
101.91	9.88	9.88	0.00	1
102.13	11.53	11.53	0.00	1
102.33	13.18	13.18	0.00	1
102.54	14.82	14.82	0.00	1
102.75	16.47	16.47	0.00	1
103.00	18.36	18.36	0.00	Overtopping

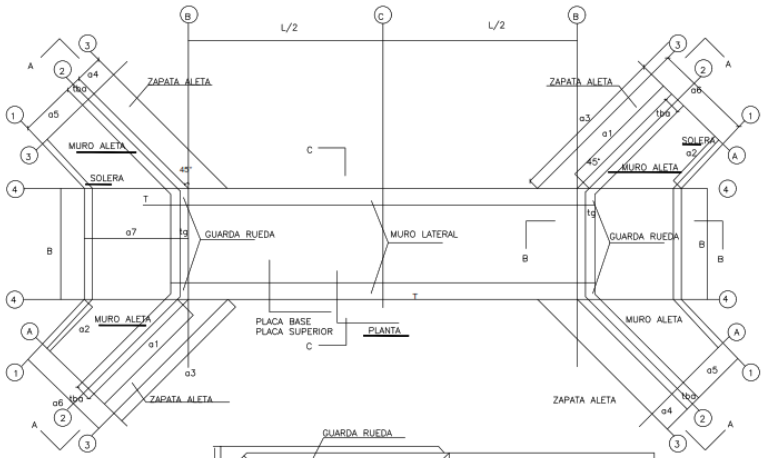
Como puede apreciarse la estructura de drenaje transversal tipo Box Culvert de dimensiones 2.50 metros x 2.50 metros cumple todos los requisitos para evacuar el caudal de diseño de 16.47 m^3/seg, de igual manera las relaciones HW/D se cumplen a cabalidad, teniendo un máximo de 1.10 cumpliendo la norma establecida para Colombia.

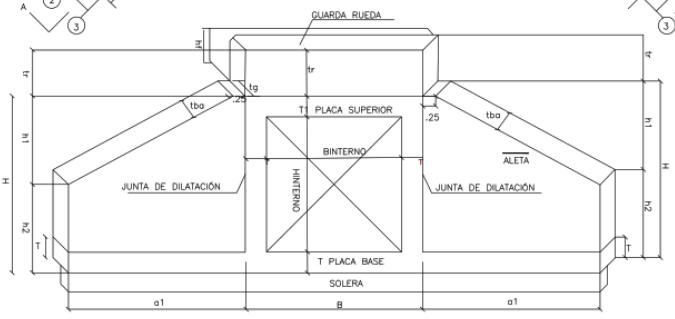
Detalle estructura Propuesta



ESPECIFICACIONES DE DISEÑO
- CONCRETO f'c = 21 MPa (3000 PSI, Clase D)
- ACERO CORRUGADO fy = 420 MPa (60000 PSI)
- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN METROS.

BOX COULVERT – H1=2.00 m x B=2.00 m										
ALTURA DEL RELLENO (H)	ESPESORES		REFUERZO					CANTIDADES DE OBRA		
	T	TI	REF – 1	REF – 2	REF – 3	REF – 4	REF – 5	CONCRETO m3/m	SOLADO m3/m	ACERO Kg/m
0.00 – 0.30	0.30	0.35	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.89	0.13	220.21
0.30 – 0.60	0.30	0.30	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.76	0.13	217.94
0.60 – 1.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
1.00 – 1.50	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
1.50 – 2.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
2.00 – 2.50	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
2.50 – 3.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
3.00 – 4.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
4.00 – 5.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
5.00 – 6.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	2.25	0.13	209.91
6.00 – 7.00	0.25	0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.20	5/8" @0.25	2.25	0.13	236.31
7.00 – 8.00	0.30	0.30	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.20	5/8" @0.25	2.76	0.13	245.28





NOTAS GENERALES

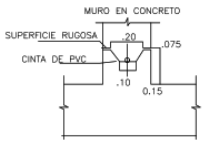
1. LAS DIMENSIONES MOSTRADAS ESTÁN DADAS EN METROS, EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
2. RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXTERNo = 0.075 m INTERNO= 0.05m.
3. NORMA DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES
   - NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES–LRFD–CCP–14.
   - NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS. I. VERSIÓN 2013.
   - ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN PARA CARRETERAS–INVIAS VERSIÓN 2013.
4. MÉTODO DE DISEÑO
   - LAS DISPOSICIONES DE DISEÑO PARA LOS MUROS, SIGUIERON EL MÉTODO CON FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA–LRFD.
5. CARGAS DE DISEÑO
   - PESO ESPECIFICO DEL HORMIGÓN: 24 kN/m³.
6. MATERIALES
   - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO: f'c= 21 MPa (Clase D).
   - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CONCRETO SIMPLE PARA SOLADOS: f'c= 14 MPa (Clase F).
   - ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO: fy= 420 MPa.
   - RELLENO MATERIAL FILTRANTE: ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ARTÍCULO 610.2.4.
   - GEOTEXTIL: NT.
   - PARÁMETROS GEOTÉCNICOS UTILIZADOS EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS BOX CULVERT:

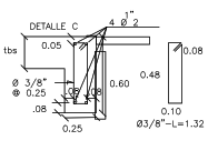
MATERIAL DE RELLENO:
- PESO ESPECIFICO DEL RELLENO: γ=19.0 kN/m³.
- COEFICIENTE ACTIVO DE PRESIÓN DE TIERRAS Ka = 0.40.
- COEFICIENTE DE PRESIÓN LATERAL DE SUELO EN REPOSO, ko= 0.50.

SUELO DE FUNDACIÓN:
- CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DEL SUELO DE FUNDACIÓN= 130.0 kN/m².

PARÁMETROS SÍSMICOS:
- COEFICIENTE DE ACELERACIÓN PICO DEL SUELO: Aa <= 0.30.

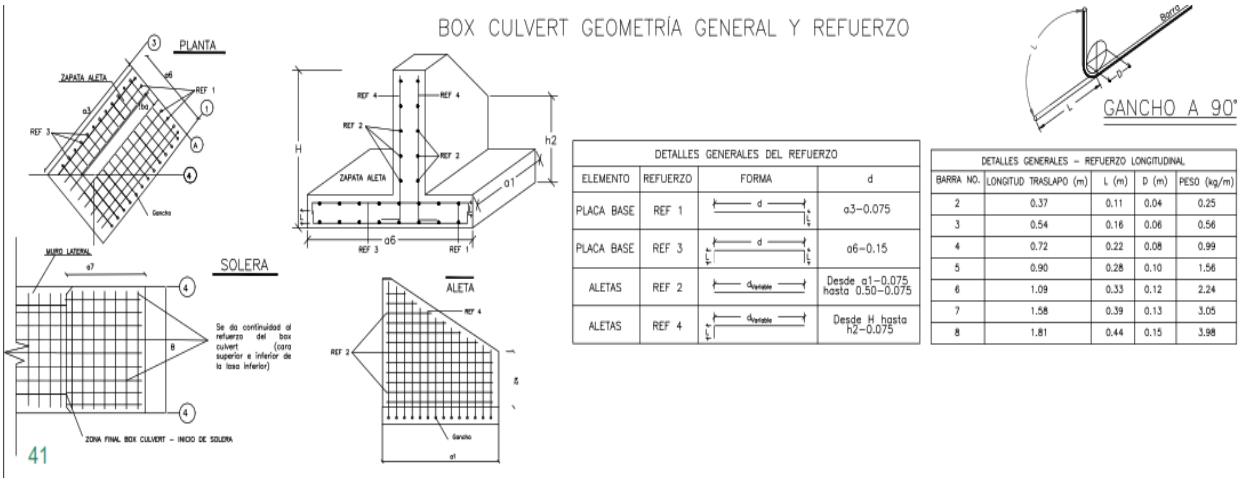
NOTA:
- EN EL CASO DE PRESENTARSE UNA DIFERENCIA EN LOS PARAMETROS GEOTECNICOS Y SISMICOS. LA ESTRUCTURA REQUIERE DE UN NUEVO DISEÑO.
- SE DEBE HACER UN MANTENIMIENTO RUTINARIO EN LA CUAL SE ELIMINE MATERIAL SEDIMENTARIO DEL FONDO DE LOS BOX CULVERT PARA ASÍ EVITAR POSIBLES OBSTRUCCIONES.
- NO SE PERMITEN SOLDADURAS EN EL ACERO DE REFUERZO.
- SE DEBE GARANTIZAR COMO MÍNIMO LA LONGITUD DE TRASLAPO INDICADA EN CADA DETALLE.





GEOMETRÍA Y CANTIDADES DE OBRA

SECCIONES	GUARDARUEDAS		ALETAS					BASE ALETAS							REFUERZO				CANTIDADES DE OBRA		
	tg	tr	H externo	h1	h2	a1	tba	tbs	a2	a3	a4	a5	a6	a7	REF 1	REF 2	REF 3	REF 4	CONCRETO	SOLADO	ACERO
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m					m3	m3	kg
1.00 X 1.00	0.25	0.30	1.50	0.50	1.00	1.50	0.25	0.25	0.93	1.68	0.18	0.32	0.75	0.55	1/2" @0.25	3/8" @0.25	3/8" @0.25	3/8" @0.25	3.18	0.41	187.06
1.50 X 1.50	0.25	0.30	2.00	0.70	1.30	2.00	0.25	0.25	1.15	2.32	0.32	0.58	1.15	0.95	1/2" @0.25	3/8" @0.25	3/8" @0.25	3/8" @0.25	6.14	0.87	367.32
2.00 X 2.00	0.25	0.30	2.50	0.80	1.70	2.60	0.25	0.25	1.29	3.00	0.40	1.00	1.70	1.55	1/2" @0.25	1/2" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	10.87	1.61	1148.84
2.50 X 2.50	0.25	0.30	3.00	0.80	2.20	2.60	0.25	0.25	1.29	3.00	0.40	1.00	1.70	1.55	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.20	12.63	1.73	1681.50
3.00 X 3.00	0.25	0.30	3.50	1.30	2.20	3.00	0.25	0.25	1.37	3.40	0.40	1.25	2.00	1.95	5/8" @0.25	5/8" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.20	16.67	2.33	2781.96
4.00 X 4.00	0.30	0.30	4.60	1.10	3.50	3.00	0.30	0.30	1.37	3.40	0.40	1.25	2.00	1.95	3/4" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.15	25.60	2.66	4431.24
1.00 X 2.00	0.25	0.30	1.50	0.50	1.00	1.50	0.25	0.25	0.93	1.68	0.18	0.32	0.75	0.55	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	3.60	0.52	350.06
2.00 X 3.00	0.25	0.30	2.50	0.80	1.70	2.60	0.25	0.25	1.29	3.00	0.40	1.00	1.70	1.55	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.20	12.78	1.85	1582.46
2.00 X 4.00	0.30	0.30	2.60	0.60	2.00	2.60	0.30	0.30	1.29	3.00	0.40	1.00	1.70	1.55	3/4" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.20	15.81	2.13	2570.14
3.00 X 4.00	0.30	0.30	3.60	1.30	2.30	3.00	0.30	0.30	1.37	3.40	0.40	1.25	2.00	1.95	3/4" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.20	21.67	2.66	3490.44
2.50 X 2.50 DOBLE	0.30	0.30	3.10	1.40	1.70	2.60	0.30	0.30	1.29	3.00	0.40	1.00	1.70	1.55	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.25	5/8" @0.15	17.69	2.45	1771.48
3.00 X 3.00 DOBLE	0.30	0.30	3.60	1.30	2.30	3.00	0.30	0.30	1.37	3.40	0.40	1.25	2.00	1.95	5/8" @0.25	5/8" @0.25	3/4" @0.25	3/4" @0.15	24.77	3.30	3086.94
3.50 X 3.50 DOBLE	0.30	0.30	4.10	1.10	3.00	3.00	0.30	0.30	1.37	3.40	0.40	1.25	2.00	1.95	3/4" @0.25	3/4" @0.25	7/8" @0.25	7/8" @0.25	28.25	3.58	4193.33
4.00 X 4.00 DOBLE	0.30	0.30	4.60	1.10	3.50	3.00	0.30	0.30	1.37	3.40	0.40	1.25	2.00	1.95	3/4" @0.25	3/4" @0.25	7/8" @0.25	7/8" @0.20	31.40	3.87	4878.78



DETALLES GENERALES DEL REFUERZO

ELEMENTO	REFUERZO	FORMA	d
PLACA BASE	REF 1	d	a3−0.075
PLACA BASE	REF 3	d	a6−0.15
ALETAS	REF 2	d variable	Desde a1−0.075 hasta 0.50−0.075
ALETAS	REF 4	d variable	Desde H hasta h2−0.075

DETALLES GENERALES – REFUERZO LONGITUDINAL

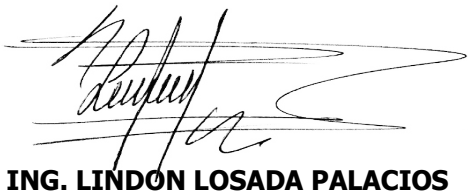
BARRA NO.	LONGITUD TRASLAPO (m)	L (m)	D (m)	PESO (kg/m)
2	0.37	0.11	0.04	0.25
3	0.54	0.16	0.06	0.56
4	0.72	0.22	0.08	0.99
5	0.90	0.28	0.10	1.56
6	1.09	0.33	0.12	2.24
7	1.58	0.39	0.13	3.05
8	1.81	0.44	0.15	3.98

Figura 8. Planta, Perfil y Detalles del Box Culvert propuesto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente documento presenta el estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el drenaje de las aguas lluvias que discurren hacia las vías objeto del presente análisis.
- El análisis tiene como alcance principal la determinación de los caudales pico máximos en las obras de drenaje, de conformidad con los periodos de retorno adoptados por en el Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS 2009) y la Guía de diseño de pavimentos en placa huella publicados por el Instituto.
- Se encontró como estación de referencia cercana, para los cálculos hidrológicos, la estación Ubalá del municipio de Ubalá Cundinamarca, perteneciente a la red climatológica del IDEAM, la cual presenta una buena calidad en los datos recolectados.
- No existen Obras de Drenaje Transversal en el sitio lo que dificulta la estabilidad de la via existente.
- Para el punto 01, se propone como obra de drenaje transversal Tipo la construcción de Alcantarillas tipo Cajón de dimensiones 2.50 m x 2.50 m la cual presenta condiciones óptimas para evacuar el caudal de diseño para un periodo de retorno de 20 años.
- Las condiciones de diseño hidráulicas propuestas deben ser corroboradas al inicio de la construcción.
- El presente documento no contempla condiciones de diseño estructural ni geotécnico de las estructuras propuestas.

INFORME ELABORADOR POR:



ING. LINDON LOSADA PALACIOS
Especialista en Recursos Hídricos.
UAEGRD