

Guía práctica para el diseño de cunetas y alcantarillas como sistema de drenaje para carreteras de tercer orden, municipio de ataco departamento de tolima

Practical guide for the design of ditches and culverts as a drainage system for third order roads, municipality of ataco, department of tolima

Guia práctico para a concepção de valas e bueiros como sistema de drenagem para estradas de terceira ordem, município de ataco, departamento de tolima.

Wilson Enrique Amaya Tequia^a
Henry Julián Rodríguez Arana^b
Daniel Orlando Espinosa Cárdenas^b

^a Facultad de Ingeniería Civil, MSMRHA
Semillero de Investigación, Universidad Santo
Tomás, wilson.amaya@usantoto.edu.co

^b Facultad de Ingeniería Civil, Especialización en
geotecnia vial y pavimentos, henry.rodriguez@usantoto.edu.co,
daniel.espinosa@usantoto.edu.co

Resumen— El sistema de drenaje en las carreteras, se compone de obras que facilitan el manejo adecuado de los fluidos. En su estructura deben estar los procesos de; captación, conducción, evacuación y disposición final controlada de los mismos. Por tal motivo un manejo de aguas mediante cunetas y alcantarillas generaría un control adecuado en la evacuación de agua pluvial, extendiendo así la vida útil de la estructura de una carretera.

Este tipo de obras tiene como objetivo conducir las aguas de escorrentía o flujo superficial a su disposición final de manera controlada, facilitando la protección de la estructura de la carretera y seguridad de los vehículos que la transitan. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de carreteras, ya que, de no tenerse en cuenta, puede causar la erosión, infiltración en la subrasante dejando el pavimento y sus banquetas sin sostén; posiblemente causando un aumento considerable de los gastos de mantenimiento o rehabilitación.

En este artículo se pretende generar una guía práctica para el diseño de cunetas y alcantarillas, basados en el componente de hidrología e hidráulica para la concepción de estructuras hidráulicas que concluyan en el diseño para la construcción y solución de un tramo de carretera de tercer orden, tomando como zona de implementación una vía rural en el municipio de Ataco- Tolima.

Palabras clave— Carretera, drenaje, cuneta, alcantarilla.

Abstract— This document aims to generate a methodology for the design of the drainage system, based on the Hydrology and Hydraulics component for the conception of hydraulic structures that conclude in the design for the construction and solution of several sections of third-order roads, taking as a solution, the constitution of a footprint plaque in rural areas in the municipality of Ataco – Tolima

Keywords— Road, ditch, Drainage system, Culvert

Resumo— Este documento tem como objetivo gerar uma metodologia para o projeto do sistema de drenagem, com base no componente Hidrologia e Hidráulica para o projeto de estruturas hidráulicas que terminam no projeto de construção e solução de vários trechos de estradas de terceira ordem, tomando como solução, a constituição de uma placa de pegada em áreas rurais no município de Ataco - Tolima

Palavras chave— Estrada, vala, sistema de esgoto.

I. INTRODUCCION

Según (Lemos, 1999), los drenajes funcionan como un sistema de canalización superficial destinado a captar, conducir y evacuar de la calzada de una carretera en el menor tiempo posible la escorrentía superficial, producida por precipitaciones atmosféricas intensas en donde es importante definir estructuras hidráulicas óptimas acorde a las condiciones climáticas de la zona de estudio, garantizando el adecuado funcionamiento de la carretera. (Párr. 1)

Las obras de drenaje en vías son elementos estructurales importantes que influyen directamente en la duración del camino, carretera, autopista u otra vía terrestre de comunicación, su objetivo principal es captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural o que, de alguna u otra forma, llegan al mismo, principalmente las aguas pluviales y así mismo dar salida rápida a las aguas que lleguen al camino (Irlane Maia de Oliveira, 2017, pp. 1-2).

En la actualidad los sistemas de captación de aguas superficiales han tomado gran importancia en diferentes áreas, debido no sólo al crecimiento de los asentamientos humanos como lo registra la historia, sino también a múltiples factores como: el desarrollo y crecimiento de las ciudades, la seguridad de las personas que las habitan, factores de contaminación ambiental, aspectos estéticos, valorización e impacto urbano, entre otros. (Forero, 2009).

Así entonces, un sistema de drenaje está compuesto por diversas estructuras, de las cuales hacen parte las alcantarillas, que tienen por objetivo principal sortear un obstáculo al paso del agua, la definición en cuanto al distanciamiento máximo de las mismas estará presente en este documento, se verá entonces el cálculo de la capacidad máxima de una alcantarilla circular de diámetro de 36", para generar las posibles soluciones orientadas a proponer la estructura más acorde a las condiciones propias del sitio de estudio. (Facundo, 2005), pp. 2). También el sistema tiene que estar en capacidad de recolectar y conducir las aguas lluvias que escurren en su gran mayoría sobre las zonas rurales, disponiéndolas en estructuras de infiltración, filtración, retención, detención y/o conduciéndolas mediante canales o tuberías hasta descargar a los cuerpos de agua naturales existentes. (Universidad Estatal Del Sur de Manabí, 2020).

Por otra parte, la red de carreteras colombiana es de 164.000 km aproximadamente, de los cuales 16.776 son de red primaria, de los que 13.296 están encargadas al INVÍAS, y 3.380 km están concesionados; 147.500 km son de Red secundaria y terciaria distribuidos así: 72.761 km encargados a los departamentos, 34.918 km encargados a los municipios, 27.577 al Instituto Nacional de Vías, y 12.251 km a privados. (Jaimes Guarín, 2014)

Dado lo anterior, un buen drenaje en caminos rurales es fundamental para

el éxito de la construcción de carreteras. Se debe tener presente que, si el drenaje es inadecuado, los costos de mantenimiento se pueden aumentar, la vida útil de la carretera se puede reducir, y pueden resultar impactos adversos sobre el medio ambiente y las comunidades locales. (Griffiths, 2000, pp. 2).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. Según el Estudio Nacional del Agua realizado por el IDEAM, se estima un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km² que supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km²) y tres veces el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s- km²), asimismo del volumen total anual de precipitación en Colombia, el 61% se convierte en escorrentía superficial (IDEAM, 2010, pp. 2). Estas condiciones implican que “las carreteras se encuentren sometidas de manera frecuente a la acción del agua lluvia y que deben atravesar o bordear numerosos cursos de agua” (Otálvaro Barco, 2016). Por esta razón, “es de suma importancia la construcción y el mantenimiento de las cunetas o canales que interceptan el agua que discurre por la vía y lo canaliza de tal forma que no se produzcan daños a la carretera” (Torres Cornelio, 2018).

“Cuando una carretera dispone de un drenaje adecuado, el contenido de humedad en los suelos que conforman la obra básica varía dentro de márgenes bastantes estrechos a lo largo del

año, aun en zonas donde existe una marcada diferencia de precipitación” (Juana et al., 2014).

El objetivo general de este documento, se enfoca en generar una metodología para obtener una concepción de estructuras tales como cunetas y alcantarillas, para garantizar el buen funcionamiento de carreteras de tercer orden de varios tramos de vías rurales en el Municipio de Ataco Tolima, con el fin de dimensionar e implantar las obras de drenaje longitudinales y transversales de control y manejo de la escorrentía superficial.

Para ello se realizó la revisión bibliográfica en portales especializados como Google académico, Scopus, Science Direct, inicialmente generando una lista de palabras relacionadas con el tema de investigación, tales como carretera, cunetas, alcantarilla, drenaje, box culvert, posteriormente ejecutar una selección de las fuentes que tuvieran contenido de gran aporte al tema de investigación, asimismo se tomaron fuentes bibliográficas de diferentes autores colombianos que tratan de temas relacionados y datos de campo locales como topografía y registros hidroclimatológicos de la zona para poder soportar el desarrollo de la investigación.

Adicional a lo anterior se realizaron los siguientes pasos:

Identificar la ubicación general de la zona de análisis, mediante la herramienta Google Earth.

- Caracterizar el área de estudio en los aspectos meteorológicos e hidrológicos que permitan establecer la línea base para la realización de los análisis hidráulicos.
- Identificar las variables hidrológicas que permitan estimar valores de caudales de diseño con ayuda de la información primaria y secundaria recopilada, tales como topografía y tipo de suelo.
- Definir los criterios técnicos para establecer el dimensionamiento de las obras de drenaje mayores y menores (cunetas, pocetas, alcantarillas, descoles) entre otras.
- Revisar la capacidad hidráulica de las obras de drenaje tanto mayores como menores a partir de los caudales máximos obtenidos en el estudio hidrológico.
- Definir el distanciamiento máximo que puede existir entre estructuras de drenaje transversales, garantizando el transporte de las aguas de escorrentía o precipitación efectiva, evitando entre otros el hidro planeo.

Luego de haber realizado los procesos anteriores se debe generar un cuadro resumen basado en el cálculo de la precipitación máxima diaria promedio en mm, en donde se caractericen las longitudes de los tramos entre estructuras de drenaje transversales, la

capacidad de las estructuras de drenaje longitudinales y los abscisados de la ubicación de las estructuras.

Se representará a continuación la zona de estudio para proponer las estructuras hidráulicas.

1) Localización del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Tolima, municipio de Ataco, en la Figura 1 se muestra la ubicación general de la zona del proyecto:

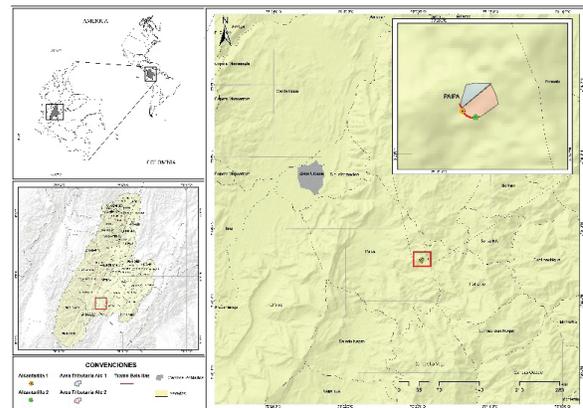


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio.
Fuente: Autor.

2) Caracterización hidrológica de la zona objeto de estudio.

Las estaciones hidrometeorológicas cercanas a la zona de influencia del proyecto se seleccionaron a partir del catálogo de estaciones del IDEAM, estas se presentan en la Tabla 1 y su ubicación se muestra en la Figura 2, adicionalmente en la Tabla 1 se muestra la información que se obtuvo para cada

estación que se seleccionó arrojando el siguiente análisis:

Tabla 1. Estación hidrometeorológica de influencia en la zona del proyecto.

NOMBRE	SANTIAGO PEREZ
CODIGO	22020050
CATEGORIA	PLUVIOMÉTRICA
DEPARTAMENTO	TOLIMA
MUNICIPIO	ATACO

Fuente: IDEAM, modificado por el autor.

Las obras de desagüe son estructuras indispensables para evitar el deterioro de las carreteras, en países lluviosos el agua está constantemente en nuestras vías, especialmente en carreteras de montaña. Por esto, es necesaria una adecuada comprensión de cómo funcionan los drenajes superficiales para carreteras.

A continuación, se ilustran las estaciones hidrometeorológicas.

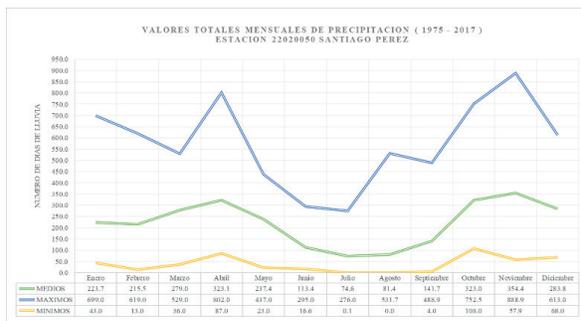


Fig. 2. Valores totales mensuales de precipitación (mm).
Fuente: IDEAM.

Según (Guzman Arias, 2012) el propósito fundamental del estudio hidrológico en

el diseño de proyectos de infraestructura vial, se concentra en la estimación del caudal (Q) de diseño a considerar para cada una de las estructuras de drenaje (Párr. 2).

De esta manera se debe conocer también el número de días de lluvia a partir de datos entregados por el IDEAM, así:

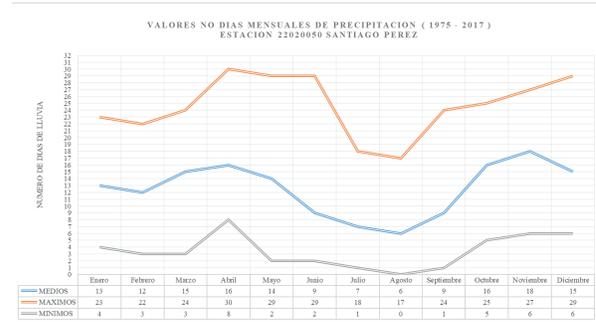


Fig. 3. Valores No de días mensuales de precipitación.
Fuente: IDEAM.

Los valores máximos mensuales de precipitación son de gran importancia, los mismos fueron solicitados y entregados por el IDEAM.

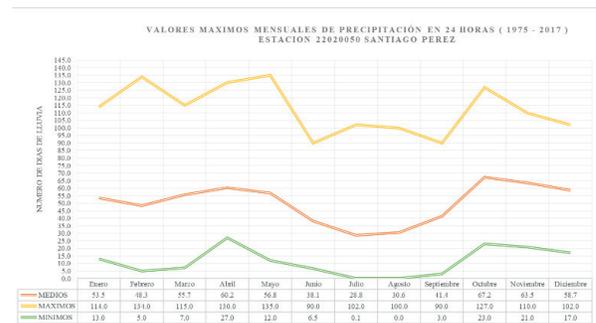


Fig. 4. Valores máximos mensuales de precipitación (mm).
Fuente: IDEAM.

3) Caracterización climática regional

A continuación, se hace una descripción de los elementos meteorológicos de gran importancia, también se describe la clasificación climática, con base en el atlas del IDEAM (2005), en donde se podrá evidenciar de manera resumida la precipitación total anual para el municipio, así como el número de días de lluvia, también la temperatura media anual, que es un dato de relevancia, ya que hace parte del objeto del estudio, finalmente se evidenciará la clasificación climática.

a) Precipitación Total Anual (mm)

En la dinámica de la precipitación regional también influyen los efectos de las circulaciones locales como los vientos de valle-montaña, que demuestran su presencia al reforzar la influencia de los otros procesos o sistemas meteorológicos actuantes, y determinan el período del día en el cual se presenta una mayor precipitación. También pueden estar asociadas a su producción, en las épocas en las cuales esos otros procesos o sistemas meteorológicos no son totalmente condicionantes (Jaramillo & Chaves, 2000).

En la Figura 5 se presenta el mapa del Departamento del Tolima, con las precipitaciones que se tienen a lo largo del departamento, donde se puede observar que los máximos valores de precipitación se tienen en el sur y norte del departamento, con precipitaciones que van desde los 2000 hasta casi los

4000 mm e precipitación anual, para el municipio del Ataco se tiene que en gran parte de la extensión del municipio oscila entre 2000 y 2500 mm de precipitación total anual. Como lo ilustra la siguiente imagen.

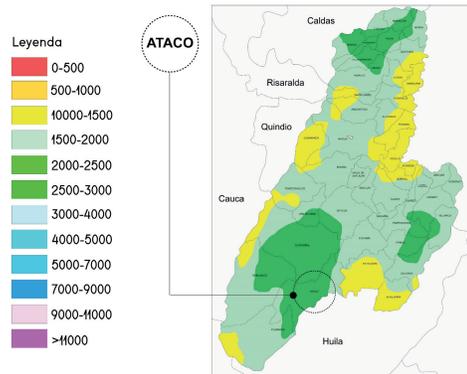


Fig. 5. Precipitación Total Anual (mm) Departamento del Tolima.

Fuente: (IDEAM, 2020b), modificado por el autor.

b) Número de días con lluvia

En la Figura 6 se registran los días con lluvia para el departamento del Tolima, en gran parte de su territorio se presentan 150 y 200 días con lluvia, se observa también que en el municipio de Ataco se registra en general 100 y 150 días con lluvia.

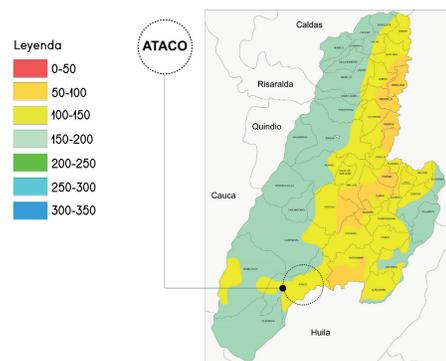


Fig. 6. Días de Lluvia. Departamento del Tolima.

Fuente: (IDEAM, 2020d), modificado por el autor.

c) Temperatura media anual (°C)

El mapa de temperatura media anual para el departamento del Tolima se muestra en la Figura 7, se puede observar que el departamento tiene una temperatura que va aumentando desde el oriente del departamento donde se alcanzan temperaturas al punto que se consideran Niveles, hacia el centro del departamento donde se tienen zonas cálidas (Temperaturas mayores a 24°C) y adicionalmente en la parte más occidental del departamento se vuelven a presentar zonas de climas templados y fríos. Para el municipio de Ataco se presenta una diferencia con respecto a la dinámica departamental con un rango amplio de temperaturas siendo en la zona sur del departamento con temperaturas entre los 20 y 24°C como se muestra a continuación:

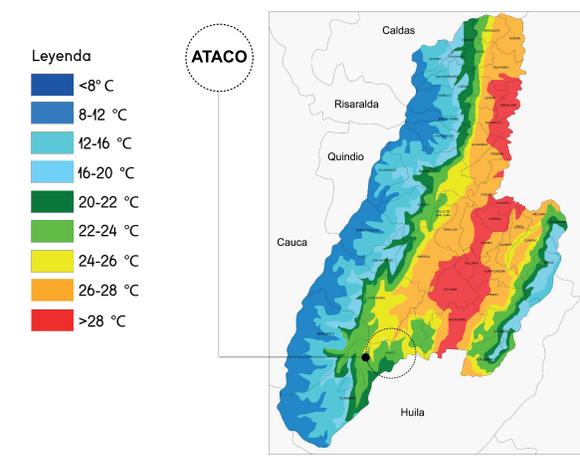


Fig. 7. Temperatura Media Anual (°C) Departamento del Tolima.

Fuente: (IDEAM, 2020c), modificado por el autor.

d) Clasificación Climática

En la Figura 8 se presenta el mapa de tipos de clima que se registran en el departamento del Tolima, para el municipio de Ataco, el clima que se presenta es cálido semihúmedo de la zona del municipio.

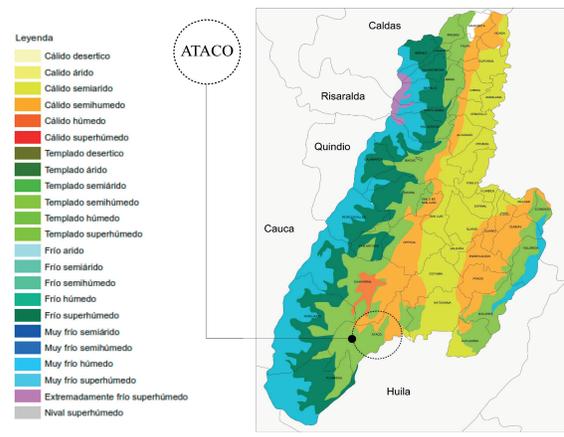


Fig. 8. Clasificación climática. Departamento del Tolima.

Fuente: (IDEAM, 2020a), modificado por el autor.

III. RESULTADOS

1) Identificación de variables hidrológicas.

a) Precipitaciones de corta duración

La determinación de las características de la precipitación de corta duración, debe contener el uso de una tormenta o evento extremo, que involucra una relación entre su intensidad, la duración de la tormenta y las frecuencias de tal magnitud o periodos de retorno, se utilizan para el análisis de obras de drenaje y el manejo de la escorrentía superficial.

En este sentido, Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media de la lluvia en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Guzman Arias, 2012).

Cabe mencionar, que el agua de lluvia que forma la escorrentía superficial perjudica a la población, ya que en su recorrido arrastra basuras; colmatando las obras de drenaje por tanto se genera esta guía con la intención de mejorar la calidad del manejo y diseñar una estructura que cumpla con la evacuación de dicha lluvia, así generar y mejorar el desarrollo rural en zonas donde el sistema de drenaje es escaso y en otras donde se satura las estructuras (Ribeiro, 2014).

La variación espacial de la lluvia de corta duración se construye a partir de las precipitaciones máximas diarias, ya que no se contó con información de precipitación horaria en la zona de estudio.

El método que se utiliza en este caso para estimar las curvas IDF es la propuesta por los ingenieros Rodrigo Vargas y Mario Díaz-Granados (Vargas Díaz Granados, 1998, p. 5).

La ecuación (1) se utiliza para obtener las intensidades:

$$i = \frac{a * T_r^b * M^d * N^e * PT^f}{\left(\frac{t}{60}\right)^c} \quad (1)$$

Donde:

i = Intensidad en mm/h.

T_r = Periodo de retorno en años.

M = Precipitación máxima diaria promedio en mm.

PT = Precipitación media anual.

N = Número de días con lluvia al año.

t = Tiempo de lluvia en minutos.

a, b, c, d, e, f = Parámetros de ajuste.

Para el caso concreto de la zona del estudio el proyecto se ubica dentro de la clasificación (INVIAS, 2009) en la Región R1 (Región Andina) y los parámetros de ajuste se presentan en la tabla 2:

Tabla 2. Valores de los Coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas de Intensidad, duración, frecuencia, IDF, para Colombia.

REGION	a	b	c	d	e	f
Andina (R1)	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08
Caribe (R2)	8.51	0.21	0.50	-0.01	-0.08	0.28
Pacífico (R3)	2.31	0.19	0.58	-0.20	0.12	0.40
Orinoquía (R4)	1.3 E-26	0.19	0.58	1.19	-1.46	8.28

Fuente: (Vargas & Díaz-Granados, 1998), modificado por el autor.

Para el cálculo del parámetro M , se realiza el promedio o media aritmética de los valores máximos de precipitación en 24 horas para cada uno de los años, a partir de los registros obtenidos de la estación pluviométrica Santiago Pérez [22020050], es importante señalar que para el análisis se consideró la estación dada en la Tabla 1, debido a su proximidad y representatividad en la zona de estudio, N hace referencia al número de días con lluvia al año, que se toma

de la tabla de valores, días mensuales de precipitación, por lo cual la precipitación media anual será calculada de la tabla de valores totales mensuales de precipitación (mms).

Tabla 3. Valores promedio de los valores máximos de precipitación en 24 horas, del número de días de lluvia, y de precipitaciones totales anuales.

Estación	M	N	PT
SANTIAGO PÉREZ	97.59	147	2.651

Fuente: Autor

Al aplicar la fórmula regionalizada de las curvas IDF para Colombia, y cambiar sus parámetros para la región Andina se obtiene la siguiente ecuación:

$$i = \frac{1.61 * T_r^{0.19} * M^{0.75} * N^{-0.15} * PT^{0.08}}{\left(\frac{t}{60}\right)^{0.65}} \quad (2)$$

Al reemplazar los valores del tiempo de retorno (T_r), y la duración (t) se obtiene los valores de intensidad para las estaciones de estudio.

Las curvas IDF, se presentan generalmente como un grupo de curvas, cada una de las cuales representa un período de retorno dado. En el eje X se tiene la duración del evento (lluvia) y en el eje Y, la Intensidad del mismo. La utilización de curvas IDF se enmarca en la estimación de crecidas de cuencas hidrográficas, las cuales manejan tiempos de concentración pequeños o de baja duración, y su utilidad principal es poder estimar la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación en un lugar que no posee aparatos pluviográficos; solamente se

encuentran pluviómetros totalizadores o lugares donde no existe información de ninguna índole. Por otra parte, es de suma importancia resaltar que uno de los primeros pasos que deben seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, es la determinación del evento o eventos de precipitación, los cuales van a ser usados en un diseño específico. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retorno.

Esta relación se denomina curvas IDF, que son determinadas para cada sitio en particular (Sin & Históricos, 2017), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración –Frecuencia) y cuyo esquema de la curva IDF se señala a continuación utilizando la información obtenida de la estación SANTIAGO PÉREZ (Juan et al., n.d.).

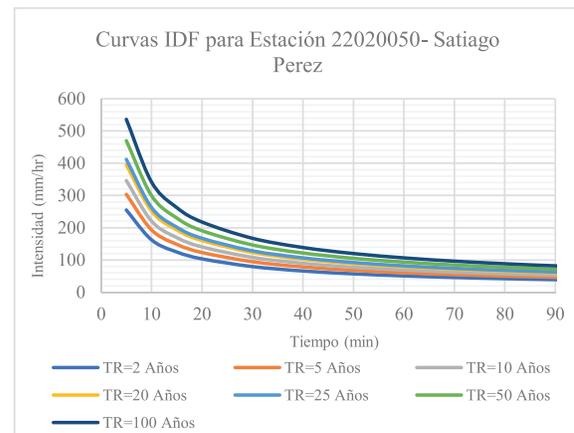


Fig. 9. Estación: 22020050 SANTIAGO PEREZ, información base desde 1975 A 2017

Fuente: Autor.

b) Periodo de retorno

También llamado período de recurrencia, el período de retorno es un concepto estadístico que intenta proporcionar una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro. (Antonio & Oviedo, n.d.)

El período de retorno, se estableció dependiendo del tipo de la obra, del costo de la misma y de su importancia relativa respecto al tamaño de la cuenca y por lo tanto asociado a la magnitud de los daños en caso de fallar la capacidad hidráulica de la obra, tal como se enuncia en el manual de drenajes para carreteras (INVIAS, 2009) y se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Periodos de Retorno para las diferentes obras hidráulicas.

Tipo de obra	Periodo de retorno (años)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: (INVIAS, 2009), modificado por el autor.

c) Coeficiente de escorrentía

El drenaje de las carreteras tiene como principal objetivo reducir al máximo posible la cantidad de agua que llega a la vía y darle salida rápida de tal manera que no destruya progresivamente la capa de rodadura de la carretera y su estructura de cimentación (INVIAS, 2015). En cuanto a los valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales, se presentan la tabla 6.

Tabla 6. valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales.

Vegetación y topografía	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 valores para pendientes entre el 10 y el 30%.

Fuente: (INVIAS, 2009), modificado por el autor.

basados en los valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009) -Tabla 2.10.

d) Método racional para el cálculo del caudal lluvia – escorrentía.

La idea detrás del método racional es que, si una lluvia con intensidad i empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración. El método racional parte de la definición del coeficiente de escorrentía C , valor adimensional, el cual para el caso del control hidráulico de la estructura de captación y conducción (berma-cuneta), se definió teniendo en cuenta la textura de los suelos, pendiente y cobertura vegetal, igual a $C = 0.82$, terreno montañoso, tierras cultivadas, suelo arcilloso. La intensidad depende del tipo de obra de drenaje. Deben medirse el área de drenaje que contribuye al sistema que se está diseñando y la subárea de drenaje que contribuye a cada uno de los puntos de entrada (Chow et al, 2000, pp. 7), para el caso de una cuneta se puede simplificar a una longitud por un ancho.

$$Q_e = 0.280 * C * I * A_v \quad (3)$$

Donde:

Q_e = Caudal de escorrentía en m³/s

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad para un tiempo de concentración (mm/Horas).

A_v = Área aferente o tributaria en km².

También está dada por la ecuación:

$$A_v = B * L$$

El área aferente para las cunetas está dada por un ancho impluvium (B) y la longitud de la cuneta (L).

2) Definición de obras de drenaje.

Las obras de drenaje transversal deberán perturbar lo menos posible la circulación del agua por el cauce natural, sin excesivas sobreelevaciones del nivel del agua ocasionadas por el cambio en la velocidad debido a erosiones potenciales aguas abajo (Ministerio de Agricultura (España), 2010).

a) Cunetas

Las cunetas son canales o zanjas longitudinales revestidas o sin revestir, abiertas en el terreno que se construyen a ambos lados o a un solo lado de la vía, con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial que se escurre por la calzada, el agua que fluye por los taludes de cortes y a veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes (Para et al., 2013).

En la construcción de vías es necesario realizar bermas y/o cunetas ubicadas lateralmente a la estructura. Estas cunetas adicionalmente sirven de confinamiento de la estructura del pavimento y de anclaje a las riostras que sirven de confinamiento. La forma y las dimensiones adoptadas para la berma-cuneta que recomienda (INVIAS, 2015), permiten que eventualmente la rueda de un vehículo pueda circular por ella con seguridad para aceptar el adelantamiento de un vehículo liviano y que el agua proveniente de la superficie de rodadura pueda ser canalizada hasta entregarla a un aliviadero o a una alcantarilla. Las cunetas pueden

provocar los siguientes problemas en caso de no estar adecuadamente dimensionadas o protegidas:

- Aumentar el riesgo de vuelco de los vehículos que abandonan la calzada de forma descontrolada.
- Permitir la acumulación de agua en la calzada, debido al desbordamiento del flujo por incapacidad hidráulica de la estructura.
- Al salirse el vehículo en descontrol de la calzada, puede introducir sus ruedas en la cuneta (De & Vial, 2019).

Para este diseño es necesario definir el ancho de la calzada, ya que la cuneta está en función de los criterios establecidos en el capítulo 5.3 de la Guía de diseño de pavimentos con placa huella. Según (INVIAS, 2015) el ancho de Impluvium = 25 m en terreno montañoso. Este ancho incluye el ancho de superficie de rodadura, ancho de la berma-cuneta, la proyección del talud de corte y un ancho adicional.

Así pues, se estableció como una alternativa óptima para el diseño de drenaje en la vía un ancho de 0.55 m de una estructura tipo berma - cuneta, que se muestran de la Figura 10 con la geometría descrita por facilidad constructiva.

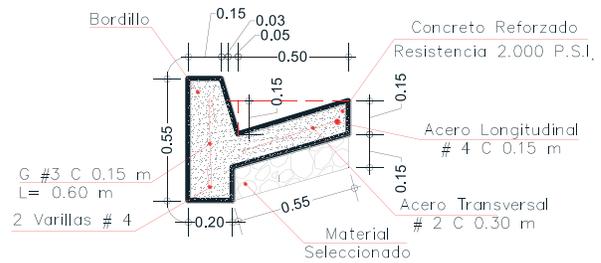


Fig. 10. Detalle de berma - cuneta.

Fuente: (INVIAS, 2015), modificado por el autor.

Las cunetas de recolección y conducción de aguas lluvias generalmente, por funcionalidad y facilidad de construcción, son de forma geométrica triangular y conformadas, por un lado, por el bordillo vertical del andén, y, por el otro, por la berma o calzada de la vía (Guillermo & Quintero, 2011). Para el cálculo de la cuneta se presentan las características geométricas de la misma:

Tabla 7. Parámetros Geométricos de Secciones de Cunetas.

Cuneta triangular asimétrica (sin borde)	
Tipo	
Lado 1 (m)	0.50
Lado 2 (m)	0.05
Base (m)	0.55
Altura	0.15
Área mojada (m ²)	0.041
P Mojado (m)	0.679
Radio hidráulico (m)	0.06

Fuente: Autor.

La topografía aportada por la alcaldía del municipio, es fundamental para lograr identificar las pendientes de terreno y las longitudes de cada placa - huella propuesta.

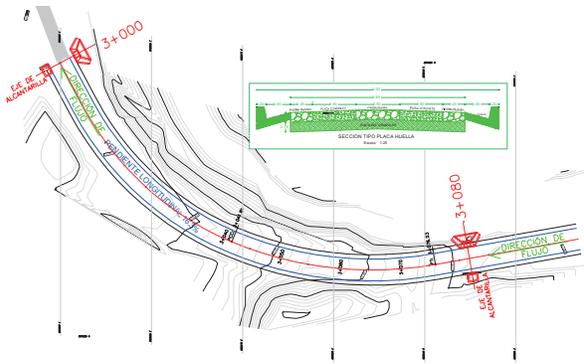


Fig. 11. Planta de placa huella tramo 1 Balsillas.
Fuente: (Ataco, 2020), modificado por el autor.

Los principales procesos que se deben tener en cuenta en el análisis y modelación de sistemas de drenaje son la acumulación y lavado de contaminantes, el flujo de agua en el sistema, los procesos de transporte de contaminantes (incluyendo sedimentación y re-suspensión), y las transformaciones químicas y biológicas (Ribeiro, 2014).

En cuanto al análisis hidráulico se adoptó como criterio el que su capacidad deberá ser suficiente para evacuar los caudales aportados por la vía y las áreas aferentes a la misma para una lluvia con período de retorno de 5 años, tal como lo determina el Manual de Drenaje para Carreteras de (INVIAS, 2009). Esta capacidad fue estimada mediante la ecuación de (Manning, 1889) para la sección de las cunetas:

$$Q = \frac{A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (4)$$

Donde:

- Q = Caudal. (m³/s).
 A = Área hidráulica de la cuenta. (m²)
 S = Pendiente de la vía. (m/m)
 n = Rigurosidad. 0,014 para el concreto.

El cálculo de la longitud máxima entre estructuras de drenaje transversales (alcantarillas), se obtiene de realizar la igualación entre el caudal máximo que puede conducir la cuneta y el caudal de escorrentía, igualando las ecuaciones 2 y 3, obteniéndose la ecuación 4.

$$L = \frac{A_m \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot (1.000.000)}{n \cdot 0.280 \cdot C \cdot I \cdot B} \quad (5)$$

De esta manera tomando como ejemplo el tramo 1 de la vereda Balsillas en la zona rural del municipio de Ataco en el departamento del Tolima, se define el área que tributa para determinar el ancho promedio y así chequear la capacidad de la cuneta para las condiciones propuestas, para esto se utiliza el software ArcGIS, señalando el área que tributa o genera precipitación efectiva.

En cuanto a la pendiente, teniendo en cuenta las curvas de nivel se puede establecer que tiene una pendiente entre el 10 y el 30% y corresponde a un plano montañoso, por lo cual se toma un valor C = 0.82.

Teniendo estas condiciones y debido al tamaño de la microcuenca se toma un

tiempo de 10 minutos de duración para el cálculo de la intensidad teniéndose un valor de 193.32 mm/h.



Fig. 12. Áreas tributarias y cobertura del sitio objeto de estudio.
Fuente: Autor.

En la imagen se puede evidenciar que la cobertura corresponde a tierras cultivadas, de esta manera se determina n ancho promedio de cuarenta y siete metros (47 m) y se realiza el cálculo del tramo 1 de la vereda Balsillas y se obtienen los siguientes datos de entrada:

Tabla 8. Datos de entrada del tramo 1 de la vereda Balsillas B =47 m.

Datos de Entrada			
Abscisa inicial	[Li]	K 3 + 000	
Abscisa final	[Lf]	K 3 + 080	
Cota abscisa inicial	[Ci]	1092.50	msnm
Cota abscisa final	[Cf]	1105.50	msnm
Ancho de cuneta	[a]	0.50	m
Profundidad	[H]	0.15	m
Coefficiente de Manning	[n]	0.014	
Coefficiente de escorrentía	[C]	0.82	
Intensidad	[I]	193.32	mm/h
Ancho Aferente	[B]	47.00	m

Fuente: Autor.

Tabla 9. Datos calculados del tramo 1 de la vereda Balsillas B =47 m

Datos Calculados			
Pendiente longitudinal	[S]	16.3%	%
Ancho restante	[b]	0.045	m
Ancho total	[T]	0.55	m
Área mojada	[Am]	0.041	m ²
Perímetro mojado	[Pm]	0.6786	m
Radio hidráulico	[Rh]	0.0602	m
Caudal máximo	[Qc]	0.1808	m ³ /s
Caudal demanda	[Qe]	0.1700	m ³ /s
Capacidad de la cuneta	[Q/ Qo]	92%	
Longitud máxima de cuneta	[Lmax]	86.69	m
Tirante o calado	[y]	0.15	m
Área mojada recalculada	[Am]	0.0385	m ²
Perímetro mojado recalculado	[Pm]	0.6585	m
Radio hidráulico recalculado	[Rh]	0.06	m

Fuente: Autor.

El diseño hidráulico de la cuneta de sección triangular asimétrica, se representa en la figura 13.

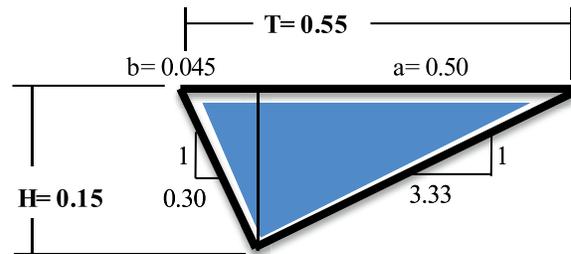


Fig. 13. Cuneta de sección triangular asimétrica.
Fuente: Autor.

b) Elementos de una alcantarilla

El encole es la estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la entrada de las obras de drenaje, y así entregar de

manera segura el agua a la tubería de la alcantarilla (López Cualla, 2004).

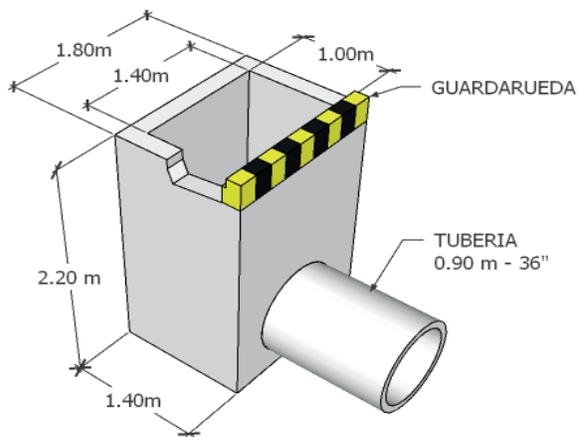


Fig. 14. Representación gráfica del sistema de encole al sistema de alcantarilla.
Fuente: Autores.

La estructura de entrada se refiere a todas las obras construidas con el fin de conducir el flujo hacia el conducto y de estabilizar el terraplén de la vía y/o el terreno natural, tales como: aletas, solado, muro cabezal, etc. El muro cabezal tiene como finalidad contener el material que sirve como estructura de la vía, así como de protección al conducto. Las aletas se utilizan para contener los taludes que conforman el terraplén de la vía y/o el terreno natural. (López Cualla, 2004).

La tubería Puede ser de concreto o laminas metálicas, especialmente de acero. Tiene como fin garantizar la conducción del flujo de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que puedan afectar los materiales que componen la estructura de pavimento. Los extremos de los tubos y el diseño de las juntas, deben garantizar un encaje

adecuado entre secciones, de manera que formen un conducto continuó, libre de irregularidades en la línea de flujo. La estructura de salida se refiere a todas las obras construidas con el fin de entregar el flujo hacia el descole o sitio de vertimiento de las aguas y de estabilizar las zonas aledañas (López Cualla, 2004).

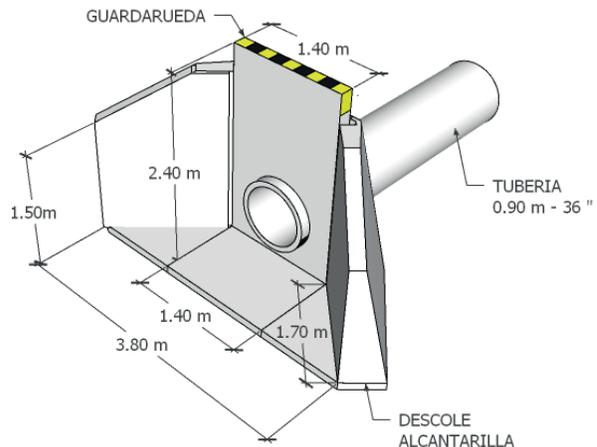


Fig. 15. Representación gráfica del sistema de descole al sistema de alcantarilla.
Fuente: Autores.

c) Análisis hidráulico de la estructura de drenaje transversal.

Las alcantarillas son conductos cortos por los cuales se transporta agua por debajo de la vía de un costado hacia el otro. Su sección transversal puede tener cualquier forma, sin embargo, generalmente son circulares o rectangulares.

El Programa HY-8 es un software elaborado por la Federal Highway Administration y es avalado por el Instituto Nacional de Vías - INVIAS para el análisis de Alcantarillas en Carreteras, actualmente cuenta con las siguientes aplicaciones:

- Realizar cálculos para el análisis de alcantarillas
- Generación y enrutamiento de hidrógramas
- Desbordamiento de carreteras
- Estimaciones de drenaje de salida.
- Perfiles de Flujo.

Para su análisis hidráulico se revisa su carga máxima de entrada (HW) la sección transversal sea suficiente para transportar el caudal de diseño sin generar eventuales rebosamientos sobre la vía. Estas estructuras hidráulicas tienen dos formas típicas en la captación del agua, una es con una poceta (o caja recolectora) adecuada para recibir aportes de drenajes intermitentes de alta pendiente, así como del agua proveniente de las cunetas y filtros franceses, entre otras; las otras formas de captación típica son con aletas, cabezotes y soleras, las cuales son implantadas en drenajes superficiales a encausar en las alcantarillas. Respecto al descole, se suelen hacer con aletas, cabezotes y soleras seguidos de un enrocado de protección y eventualmente estructuras disipadoras de energía (Normas & Generales, 2012).

El flujo a través de una alcantarilla se controla en la entrada (Inlet Control Headwater Depth) o en la salida (Outlet Control Headwater Depth). Flujo con Control a la Entrada ocurre cuando la alcantarilla (conducto) es capaz de transportar más flujo del que entra, La profundidad crítica ocurre en o cerca de la sección de entrada, y el régimen de flujo inmediatamente aguas

abajo es supercrítico (Federal Highway Administration, 2012). La profundidad de la cabecera para el control de la entrada depende de si el encole está o no sumergido. Si la entrada no está sumergida, actúa como un vertedero, mientras que una entrada sumergida actúa como un orificio. De esta manera se desarrollaron ecuaciones que definen la profundidad de la cabecera del control de entrada, utilizando modelos de alcantarilla en una pendiente del 2% para condiciones sumergidas y no sumergidas.(Rowley et al., 2007a).

Las ecuaciones utilizadas por el programa HY-8 para calcular las profundidades de las cabeceras de control de entrada se representa para condiciones no sumergidas (5) y la ecuación (6) es para flujo sumergido u orificio:

$$\frac{Hw_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K * \left[\frac{K_u * Q}{A * D^{0.5}} \right]^M + K_s * S \quad (6)$$

$$\frac{Hw_i}{D} = c * \left[\frac{K_u Q}{A * D^{0.5}} \right]^2 + Y + K_s * S \quad (7)$$

Donde:

HWi	=	Altura lámina agua a la entrada.	(m).
D	=	Diámetro del conducto.	(m).
Hc	=	Profundidad crítica.	(m).
Q	=	Descarga.	(m3/s).
A	=	Área del conducto.	(m2).
S	=	Pendiente del conducto.	(m/m).
K,M,cY	=	Constantes según configuración a la entrada.	
Ku	=	Unidad de conversión SI (1.811).	
Ks	=	Corrección de pendiente (-0.5).	

Cuando el flujo en la entrada cambia de no sumergido a una condición sumergida, entra en una zona de transición creando una línea tangente a las curvas sumergidas y no sumergidas, de tal manera, HY-8 utiliza un método en el cual crea una curva polinomial de quinto grado de mejor ajuste a través de las tres zonas de flujo: no sumergido, de transición y sumergido, la ecuación que define el polinomio general de quinto grado y que es aplicable cuando $0.5 < HW/D < 3.0$ es:

$$\frac{H_w}{D} = a + b * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}} \right] + c * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}} \right]^2 + d * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}} \right]^3 + e * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}} \right]^4 + f * \left[\frac{Q}{A * D^{0.5}} \right]^5 + 0.5S \quad (8)$$

Donde:

a,b,c,d,e,f = Coeficientes de regresión para cada tipo de alcantarilla.

Para el control de la salida, la tubería de la alcantarilla y/o la profundidad del agua de cola (TW), controlan la altura de lámina de agua de cabecera (HW_o). Todas las características geométricas e hidráulicas de la alcantarilla juegan un papel en la determinación de su capacidad (Federal Highway Administration, 2012). Las condiciones de flujo de control de salida se pueden calcular en función del balance de energía. (Schall et al., 2012)

$$HW_o = TW + H_L - LS \quad (9)$$

La energía total requerida para hacer pasar el flujo a través de la tubería de la alcantarilla (HL), se calcula de la siguiente manera:

$$H_L = H_e + H_f + H_o + H_b + H_j + H_g \quad (10)$$

Donde:

H_e = Pérdida a la entrada. ft (m).
 H_f = Pérdida por fricción del conducto. ft (m).
 H_o = Pérdida a la salida. ft (m).
 H_b = Otras Pérdidas. ft (m).
 H_j = Pérdidas en las uniones. ft (m).
 H_g = Pérdidas por cambios de nivel. ft (m).

Como una aproximación, el valor de H_o y H_e está dado por la siguiente expresión:

$$H_o = \frac{(V - V_d)^2}{2 * g} \quad (11) \quad H_e = K_e * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right) \quad (12)$$

Donde:

V = Velocidad de flujo (m/s).
 V_d = Velocidad del canal aguas abajo. (m/s).
 K_e = Coeficiente de pérdidas entrada. ft (m).

HY-8 utiliza los números de tipo de flujo para ayudar a definir cómo es el flujo de la alcantarilla. Los números de tipo de flujo se basan en los números de tipo de flujo del USGS del 1 al 6 (USGS - 1968) complementado con:

- Simplificación de $HW = D$ para indicar inmersión en la entrada.
- Tipo de flujo 7 para control de salida con perfil M1 o M2 para la mayor parte de la tubería con $HW > D$.
- Indicadores de perfil de superficie de agua estándar (S1, S2, M1, M2, H2 y H3).
- Indicador de Tailwater (n, c, t y f) para Tailwater normal, crítica, y llena.

Tabla 10. Números de tipo de flujo HY-8.

Flow Type	Flow Control	Submerged Inlet HW>D	Submerged Outlet TW>D	Length Full
1	Inlet	No	No	None
5	Inlet	Yes	No	None
2	Outlet	No	No	None
3	Outlet	No	No	None
4	Outlet	Yes	Yes	All
6	Outlet	Yes	No	Most
7	Outlet	Yes	No	Part

Fuente: (Schall et al., 2012)

HY-8 proporciona un indicador para cada tipo de flujo, un perfil de la superficie del agua y un indicador tailwater para cada descarga como una forma abreviada de identificar cómo se calculan el headwater de la alcantarilla y la velocidad de salida. Por ejemplo, un código de 1-S2n indica que la alcantarilla está en control de entrada con profundidad de cabecera menor que D, que la superficie del agua es un perfil S2 y que la profundidad de salida se calculará con el perfil S2, ya que el tailwater tiene una profundidad menor que la normal. HY-8 incluye una lista completa del sistema de codificación de flujo de alcantarilla en su corrida para identificar el tipo de flujo. (Schall

et al., 2012)10, and 13 with other related hydrologic, storage routing and special culvert design information. This third edition is the first major rewrite of HDS 5 since 1985, updating all previous information and adding new information on software solutions, aquatic organism passage, culvert assessment, and culvert repair and rehabilitation. The result is a comprehensive culvert design publication. The appendices of the publication contain the equations and methodology used in developing the design charts (nomographs

La finalidad de este tipo de drenaje es permitir el paso del agua a través de la sección transversal de la vía, evitando un cambio considerable de la circulación del agua por el cauce natural. (Para et al., 2013)

La alcantarilla circular recomendada es de diámetro de 36 pulgadas. Las alcantarillas de entrada tipo poceta de ancho un metro, corresponden a los flujos pequeños que cruzan la carretera. El diseño de la alcantarilla consiste en determinar el diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño, sin exceder la carga máxima a la entrada (H_w), y D el diámetro de tubería, se deben diseñar con un nivel de agua a la entrada menor a 1.2 veces la altura de la alcantarilla $HW/D < 1.20$. Generalmente en la entrada se crean represamientos debido al cambio de sección entre la corriente natural y la obra, para evitar lo anterior se establecieron las siguientes condiciones de diseño:

- Flujo a superficie libre dentro del conducto en régimen supercrítico.
- Nivel máximo de represamiento aguas arriba, inferior a la cota clave (corona) de la estructura hidráulica.
- Pendiente longitudinal del conducto entre el uno o dos por ciento.
- Rugosidad de Manning en el conducto 0.014.
- Condición de salida: Flujo de alta velocidad.
- Relación HW/D < 1.20.

En la zona se plantean alcantarillas de 36 in de diámetro, las cuales son modeladas bajo las condiciones de análisis, obteniendo los siguientes resultados:

Para esta guía de diseño, en el tramo objeto de estudio la alcantarilla objeto de análisis, solo recibe las aguas transportadas por las cunetas, se puede denominar como una alcantarilla de alivio, por tal motivo este caudal se utiliza para el modelamiento hidráulico.

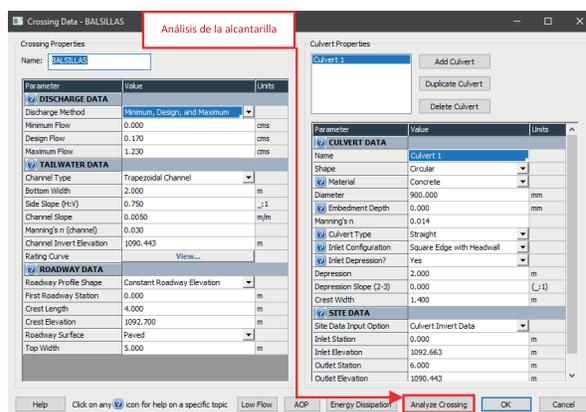


Fig. 16. Configuración de modelo en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas.
Fuente: HY8-autores.

Como se establece en la modelación, se presentan los datos de cálculo que me indican el tipo de flujo de la alcantarilla de diámetro de 36 pulgadas:

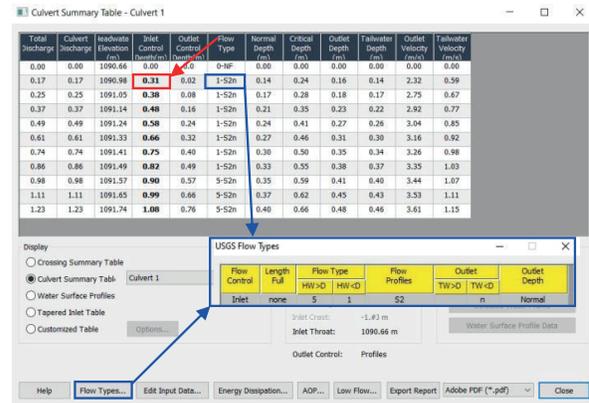


Fig. 17. Resultados hidráulicos en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas.

Fuente: HY8-autores.

Este programa HY8 permite revisar el funcionamiento hidráulico de alcantarillas con secciones circulares o de cualquier otro tipo. En la imagen anterior se puede evidenciar el control en la entrada que nos permite identificar si se presentan condiciones sumergidas o no sumergidas, para lo cual se evidencia que no está sumergida ya que el valor HW/D es menor a 0.5, por lo tanto, la entrada actúa como un vertedero.

Se puede identificar que el tipo de flujo es 1-S2n, que indica que la alcantarilla está en control de entrada actúa como un vertedero ya que HW/D < 1, que la superficie del agua es un perfil S2 y que la profundidad de salida se calculará con el perfil S2 ya que el Tailwater tiene una profundidad menor que la normal. El programa tiene la capacidad de

generar informes de los análisis hidráulicos realizados, dentro de cuales se pueden resaltar, los perfiles de flujo, en donde caracteriza las líneas de energía, curvas de remanso y tipos de flujo de una alcantarilla, se compone actualmente de cuatro módulos, necesarios para el análisis y diseño de alcantarillas relacionados así: análisis de alcantarillas, diseño de estructuras de disipación de energía y por último módulos de generación y tránsito de hidrogramas (Rowley et al., 2007b). Se obtienen los siguientes perfiles asociados a un caudal de $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual cumple la consideración de la altura máxima de carga a la entrada. Para la alcantarilla objeto de análisis tipo poceta aleta, con conducto en concreto de diámetro de 0.90 m y pendiente del 3.1% que evacua el drenaje de la calzada, se estimó que en la condición $H_w/D=1.2$, transporta un caudal máximo con control a la entrada de $1.23 \text{ m}^3/\text{s}$.

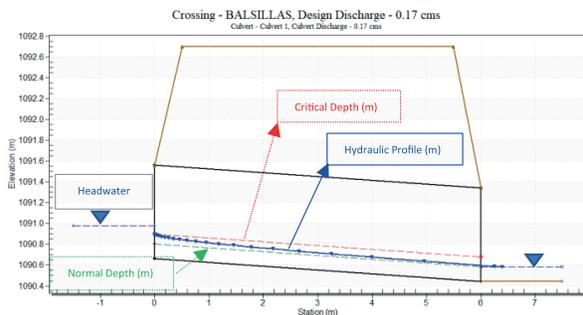


Fig. 18. Perfil en software HY-8 alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular diámetro 36 pulgadas. Fuente: HY8-autores.

Como se puede observar, el control hidráulico de la estructura se realiza aguas arriba para la profundidad

crítica, además el régimen en la alcantarilla corresponde a un perfil supercrítico, como representación de la alcantarilla se presentan las siguientes figuras:

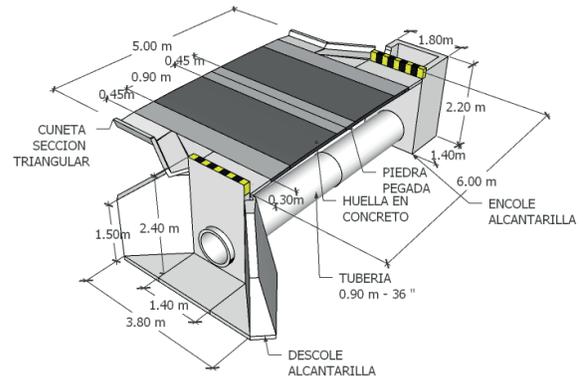


Fig. 19. Isométrico, estructura tipo alcantarilla de 36 pulgadas. Fuente: Autor.

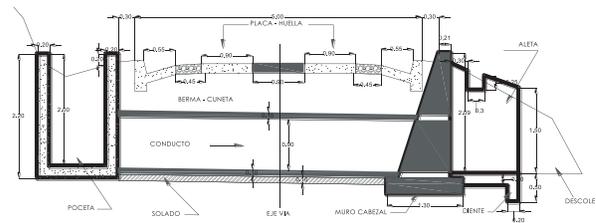


Fig. 20. Perfil alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular 36 pulgadas. Fuente: (INVIAS, 2015).

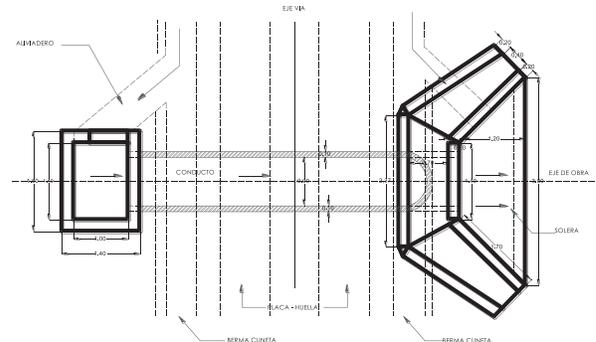


Fig. 21. Planta alcantarilla tipo poceta aleta conducto circular 36 pulgadas Fuente: (INVIAS, 2015).

IV. CONCLUSIONES

A partir de la información principal compilada y lo analizado través de la información secundaria, es posible determinar que la zona de estudio es moderadamente abundante en recursos hídricos, por tanto, es de vital importancia diseñar y lograr que las obras de drenaje en la carretera sean construidas para garantizar la seguridad y la durabilidad del tramo de carretera objeto de estudio.

Es significativo definir que la información climatológica, hidrológica, topográfica y el análisis de estructuras de los drenajes existentes conllevarán a ejecutar los cálculos adecuados del modelo hidráulico asemejándose a la realidad, adicional a esto, las obras de drenaje propuestas deben garantizar estricto cumplimiento con respecto al caudal máximo transportado, velocidades y regímenes de flujo establecidos en la normatividad aplicable.

La información secundaria servirá para aterrizar el proyecto objeto de nuestro análisis que ofrecerá como insumo para poder generar un producto de calidad desde el punto de vista ingenieril.

Se recomienda ser rigurosos con los procesos erosivos que se presenten en el terreno, ya que generan problemas de acumulación de residuos sobre las cunetas, zanjas de coronación y trincheras filtrantes de la vía, ocasionando problemas de inestabilidad por la escorrentía generada en el sector.

Como resultado se obtiene el modelamiento hidráulico de una cuneta tipo para el tramo objeto de análisis, en los cálculos se verifica que se esté cumpliendo con la capacidad hidráulica en función de la pendiente de la vía y comparada con el caudal de aporte según condiciones del sitio.

Es preciso recalcar que todas las alcantarillas que se identifiquen en un estudio de este tipo, deben ser sometidas a un análisis hidráulico con ayuda de software como el HY-8, debido a que características como; topografía, elevación sobre nivel del mar, ángulo de esviaje, longitud y pendiente del conducto, configuración a la entrada y salida son inconstantes, esto permitirá evaluar el funcionamiento propio de cada alcantarilla, para el caso de las alcantarillas de diámetro menores a 24 pulgadas, es indispensable realizar el chequeo ya que de no cumplir con los parámetros hidráulicos, deben ser reemplazadas por alcantarillas con diámetros de 36" y realizar el modelamiento de la estructura proyectada.

El presente documento servirá como una guía para poder realizar el chequeo hidráulico de cunetas y alcantarillas como obras de drenaje de diferentes tramos de un proyecto de placa huella en Colombia, ya que, si se cuenta con información de calidad veraz y soportada, se podrán obtener modelamientos que se asemejen a la realidad y arrojen resultados acordes a las condiciones del lugar objeto del proyecto.

Es fundamental que los parámetros, configuración de entrada y salida del software de ingeniería HY-8 representen la realidad del proyecto, de esto dependerá simular satisfactoriamente las condiciones hidrodinámicas y evolución de caudales del sistema, obteniendo resultados numéricos correctos, Además, a través del modelamiento se podrá definir si el dimensionamiento de la alcantarilla genera seguridad y confiabilidad en el funcionamiento y operación de la carretera.

El uso del programa HY8 es importante ya que permite analizar el funcionamiento hidráulico de alcantarillas con secciones circulares o de cualquier otro tipo, longitud, pendiente rugosidad del conducto, posible ubicación y configuración de estructuras en entrada y salida de la alcantarilla, definiendo secciones hidráulicas óptimas, garantizando un menor costo en la ejecución del proyecto.

Para la alcantarilla objeto de análisis tipo poceta aleta, con conducto en concreto de diámetro de 0,90 m y pendiente del 3.1% que evacua el drenaje de la calzada, se estimó que en la condición $H_w/D=1.2$, transporta un caudal máximo con control a la entrada de 1.23 m³/s. Se concluye que la construcción de los sistemas hidráulicos como cunetas y alcantarillas son de vital importancia en las obras viales ya que generan menos contenido de humedad en los suelos que conforman el terraplén, obteniendo así una mayor vida útil en su estructura.

V. REFERENCIAS

- [1] Antonio, F., & Oviedo, C. (n.d.). No Title.
- [2] Ataco, A. M. (2020). Balsillas Placa Huella (p. 1).
- [3] De, A., & Vial, S. (2019). Utónoma de.
- [4] Facundo, A. (2005). Diseño Hidráulico De Alcantarillas. 1–17.
- [5] Forero, O. J. P. (2009). Estado del arte de diseño de sumideros en sistemas de alcantarillado en Colombia. Universidad de la Salle. Bogota.
- [6] Guillermo, M., & Quintero, C. (2011). XIX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología y el I Foro Nacional.
- [7] Guzman Arias, D. alejandro. (2012). Drenaje vial, conceptos basicos para el diseñador geometrico.
- [8] IDEAM. (2020a). Clasificación Climática. In Clima, hidrología y meteorología. <https://doi.org/10.2307/j.ctv7fmfh3.9>
- [9] IDEAM. (2020b). Precipitación Total Anual (mm) Departamento del Tolima.
- [10] IDEAM. (2020c). Temperatura Media Anual (°C) Departamento del Tolima.
- [11] IDEAM. (2020d). Valores No de días mensuales de precipitación.

- [12] INVIAS. (2009). Manual de drenaje para carreteras. 5–6.
- [13] INVIAS. (2015). Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella.pdf.
- [14] Jaimes Guarín, J. P. (2014). Análisis de la conservación de la red vial terciaria de Boyacá. 116.
- [15] Jaramillo, Á., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 51(2), 102–113.
- [16] Juan, I., Flores, P., P, I. C. S., & A, I. E. M. (n.d.). Curvas Intensidad Duración y Frecuencia.
- [17] Juana, A. :, Micete, J., Agosto, M. D. F., & Politécnico, N. (2014). Marín Hernández Elizabeth Pérez Callejas Ivette Mareli Drenaje Y Subdrenaje En Carreteras.
- [18] Lemos, R. (1999). Drenaje Vial Superficial y Subterráneo.
- [19] López Cualla, R. A. (2004). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado (p. 546).
- [20] Ministerio de Agricultura (España), alimentación y medio ambiente. (2010). *Sistemas de Drenaje, Caminos Naturales de España*. 48–93.
- [21] Normas, C., & Generales, E. (2012). *As Es If Ac lo Es If Ac lo*. 50–150.
- [22] Otálvaro Barco, M. (2016). Consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito. Caso de estudio pista de prueba Urrao-Antioquia. Universidad de Medellín, Colombia, 79.
- [23] Para, V., Arte, O. D. E., Drenaje, M., Tránsito, L. Y., La, P., En, U., Canton, E. L., En, S., Cañar, P. D. E., Patricio, B., & Merchán, R. (2013). Diseño Integral del Sistema de Drenaje Cuenca-Ecuador. 1–92.
- [24] Ribeiro, N. (2014). N.
- [25] Rowley, B. J., Thiele, E. A., Hotchkiss, R. H., & Nelson, E. J. (2007a). Numerical modeling of culvert hydraulics: Modernization of existing HY8 software. Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns - Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2006, 40856(May 2006). [https://doi.org/10.1061/40856\(200\)51](https://doi.org/10.1061/40856(200)51)
- [26] Rowley, B. J., Thiele, E. A., Hotchkiss, R. H., & Nelson, E. J. (2007b). Numerical modeling of culvert hydraulics: Modernization of existing HY8 software. Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns - Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2006, 40856(July). [https://doi.org/10.1061/40856\(200\)51](https://doi.org/10.1061/40856(200)51)

- [27] Schall, J. D., Thompson, P. L., Zerges, S. M., Kilgore, R. T., & Morris, J. L. (2012). Hydraulic design of highway culverts. Hydraulic Design Series Number 5. Publication No. FHWA-HIF-12-026. Hydraulic Design Series, 5, 323.
- [28] Sin, G., & Históricos, R. (2017). No Title.
- [29] Torres Cornelio, R. R. (2018). Determinación y evaluación de patologías del concreto en la cuneta de la carretera Carhuaz - San Luis entre las progresivas (3+000 al 4+000) del distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, departamento de Ancash, 2018. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote.
- [30] Universidad estatal del sur de manabì. (2020). 05, 2001.
- [31] Vargas, R., & Díaz-Granados, M. (1998). Curvas sinteticas regionalizadas de Intensidad-Duracion-Frecuencia para colombia. XIII Seminario Nacional de Hidráulica e *Hidrologia*, 12.