



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO:
**VERIFICACION HIDRAULICA DE LAS ALCANTARILLAS DE LAS VIAS DEL
CONJUNTO MESA DE YEGUAS, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE ANAPOIMA,
POR MEDIO DEL PROGRAMA HY-8**

PRESENTADO POR:
JEFERSSON GARAVITO GARAVITO CÓDIGO: 504390
LUIS ALFEDRO RODRIGUEZ ALEMAN CÓDIGO: 504363

DOCENTE DIRECTOR:
FELIPE SANTAMARIA ALZATE

BOGOTÁ, D. C.
17 DE ABRIL DE 2017

VERIFICACION HIDRAULICA DEL ALCANTARILLADO TRANSVERSAL DE LAS
VIAS DEL CONJUNTO MESA DE YEGUAS, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE
ANAPOIMA, POR MEDIO DEL PROGRAMA HY-8

JEFERSSON GARAVITO GARAVITO CÓDIGO: 504390
LUIS ALFEDRO RODRIGUEZ ALEMAN CÓDIGO: 504363

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil.

Director de Trabajo
FELIPZ SANTAMARIA ALZATE
Ingeniero Sanitario y Ambiental

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA, D.C.
2017



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, septiembre de 2017.

PAGINA DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto. A nuestras familias, quienes con su apoyo nos llenaron de fuerza y de una pasión inagotable, la cual fue incondicional para la elaboración del proyecto para ellos es esta dedicatoria. Al Ing. Felipe Santamaría, quien gracias a su experiencia nos guio en cada etapa de este proyecto, sus enseñanzas nos llenaron de inspiración en cada palabra colocada en este trabajo, a él nuevamente muchas Gracias.

CONTENIDO

1.1. GENERALIDADES	11
1.2. ANTECEDENTES	11
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.3.1. Descripción del problema	12
1.3.2. Formulación del Problema	12
1.4. OBJETIVOS.....	13
1.4.1. General.....	13
1.4.2. Específicos.	13
1.5. JUSTIFICACION.....	13
1.6. DELIMITACIONES.....	14
1.6.1. Espacio.....	14
1.7. MARCO REFERENCIAL.....	14
1.7.1. Marco Teórico.....	14
1.7.2. Marco Conceptual.	15
1.7.2.1. Programas Aceptados por el Manual.....	16
1.7.2.2. Alcantarillas.	16
1.7.2.3. Hidráulica de Alcantarillas.....	17
1.7.2.4. Tipos de flujo en alcantarillas.....	18
1.7.2.5. Capacidad Hidráulica de las Alcantarillas.	24
1.7.2.9 Salida de las Alcantarillas.....	25
1.7.2.10. Fuerza Tractiva.....	26
1.7.2.11. Pendiente Crítica	26
1.8. METODOLOGÍA	27
1.8.1. Tipo de Estudio.....	27
1.8.2. Fuentes de Información	27
1.9. DISEÑO METODOLOGICO.....	27
1.10. INFORME DE VERIFICACIONES HIDRAULICAS EN HY8	28
1.10.1. Resultados del Programa	28
1.10.2. Determinación de Perfiles de Flujo por Alcantarilla.....	31
1.15.3. Fuerza Tractiva en Alcantarillas.....	49
1.16. ANALISIS DE RESULTADOS.....	50

1.16.1. Perfiles de Flujo y Fuerza Tractiva por Alcantarilla	50
1.16. CONCLUSIONES	56
1.17. RECOMENDACIONES	57
1.18. BIBLIOGRAFÍA.....	58
1.19. RELACIÓN DE ANEXOS.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Programas para el Cálculo de Alcantarillas.....	16
Tabla 2 Resultados Arrojadados por el programa HY8.....	30
Tabla 3 Datos de entrada Alcantarilla 00	31
Tabla 4 Datos de entrada Alcantarilla 01	32
Tabla 5 Datos de Entrada Alcantarilla 02.....	34
Tabla 6 Datos de Entrada Alcantarilla 03.....	35
Tabla 7 Datos de Entrada Alcantarilla 04.....	36
Tabla 8 Datos de Entrada Alcantarilla 05.....	37
Tabla 9 Datos de Entrada Alcantarilla 05.....	37
Tabla 10 Datos de Entrada Alcantarilla 06.....	38
Tabla 11 Datos de Entrada Alcantarilla 06.....	38
Tabla 12 Datos de Entrada Alcantarilla 07.....	39
Tabla 13 Datos de Entrada Alcantarilla 08.....	40
Tabla 14 Datos de Entrada Alcantarilla 09.....	41
Tabla 15 Datos de Entrada Alcantarilla 10.....	42
Tabla 16 Datos de Entrada Alcantarilla 11	43
Tabla 17 Datos de Entrada Alcantarilla 12.....	44
Tabla 18 Datos de Entrada Alcantarilla 12.....	44
Tabla 19 Datos de Entrada Alcantarilla 13.....	45
Tabla 20 Datos de Entrada Alcantarilla 14.....	46
Tabla 21 Datos de Entrada Alcantarilla 15.....	47
Tabla 22 Datos de Entrada Alcantarilla 16.....	48
Tabla 23 Consolidado de Alcantarillas	49
Tabla 24 Fuerza Tractiva para Alcantarillas.....	50

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Perfil Hidráulico de Alcantarillas	18
Ilustración 2 Mapa conceptual de tipos de perfil en alcantarillas.	22
Ilustración 3 Secciones de Flujo en Alcantarillas	23
Ilustración 4 Tipos de Flujo en Alcantarillas	23
Ilustración 5 Salida de las alcantarillas	26
Ilustración 6 Datos de entrada	28
Ilustración 7 Datos de entrada	29
Ilustración 8 Datos de entrada	30
Ilustración 9 Perfil de Flujo Alcantarilla 00	32
Ilustración 10 Perfil de Flujo Alcantarilla 01	33
Ilustración 11 Perfil de Flujo Alcantarilla 02	34
Ilustración 12 Perfil de Flujo Alcantarilla 03	35
Ilustración 13 Perfil de Flujo Alcantarilla 04	36
Ilustración 14 Perfil de Flujo Alcantarilla 05	37
Ilustración 15 Perfil de Flujo Alcantarilla 06	38
Ilustración 16 Perfil de Flujo Alcantarilla 07	39
Ilustración 17 Perfil de Flujo Alcantarilla 08	40
Ilustración 18 Perfil de Flujo Alcantarilla 09	41
Ilustración 19 Perfil de Flujo Alcantarilla 10	42
Ilustración 20 Perfil de Flujo Alcantarilla 11	43
Ilustración 21 Perfil de Flujo Alcantarilla 12	44
Ilustración 22 Perfil de Flujo Alcantarilla 13	45
Ilustración 23 Perfil de Flujo Alcantarilla 14	46
Ilustración 24 Perfil de Flujo Alcantarilla 15	47
Ilustración 25 Perfil de Flujo Alcantarilla 16	48

LISTA DE EDUCACIONES

Ecuación 1 Caudal Tipo 1 Tirante critico en la entrada	19
Ecuación 2 Caudal Tipo 2 Alcantarilla Hidráulicamente larga	19
Ecuación 3 Caudal Tipo 3 Flujo Subcritico en toda la alcantarilla	20
Ecuación 4 Caudal Tipo 4 Salida Ahogada	20
Ecuación 5 Caudal Tipo 5 Subcritico a la entrada.....	20
Ecuación 6 Caudal Tipo 6 Subcritico sin tirante	21
Ecuación 7 Perdida de carga en Alcantarillas.....	24
Ecuación 8 Factor de Sección.....	24
Ecuación 9 Factor de sección en flujo crítico.	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 10 Fuerza tractiva.....	25
Ecuación 11 Pendiente Critica	¡Error! Marcador no definido.

GLOSARIO

A continuación, encontrará una breve descripción y conceptualización de las palabras más importantes encontradas en el presente trabajo.

ALCANTARILLADO TRANSVERSAL: Alcantarilla ubicada de forma perpendicular a una vía y su principal función es drenar el agua, para evitar posibles inundaciones en el corredor vial. ¹

HY8: Programa de computación, dentro su función realiza modelaciones hidráulicas de Alcantarillas, es importante resaltar que está avalado por el Instituto Nacional de Vías para su utilización. ²

VENA CONTRACTA: Es el punto en el cual el flujo de agua se hace mas angosto al ingresar a la alcantarilla.³

TAILWATER: Hace referencia al agua localizada, inmediatamente aguas debajo de la alcantarilla⁴.

HEADWATER: Hace referencia al nivel de agua, localizado aguas arriba de la alcantarilla. ⁵

¹ Carmona, R. P. (2013). Diseño de instalaciones de sistemas sanitarios, alcantarillados y drenaje para carreteras. Bogota: Ecoediciones.

² Administration, U. D. (2017). Introduccion HY8 . Pensilvania .

³ Officials, A. a., & streets, A. p. (2004). HY-8 User Manual (v7.3) HY-8 Culvert analysis program . Washington D.C .

⁴ Officials, A. a., & streets, A. p. (2004). HY-8 User Manual (v7.3) HY-8 Culvert analysis program . Washington D.C .

⁵ Officials, A. a., & streets, A. p. (2004). HY-8 User Manual (v7.3) HY-8 Culvert analysis program . Washington D.C .

1.1. GENERALIDADES

En el diseño de vías y carreteras es indispensable controlar el sistema de drenaje, para evitar el desbordamiento de agua y permitir que el agua superficial fluya adecuadamente y descargue a canales artificiales, todo esto con el fin de prevenir el deterioro de las carreteras y reducir costos por mantenimientos⁶. Por ende, es de suma importancia el estudio y diseño del drenaje vial.

Con el presente estudio se desea hacer una verificación hidráulica del drenaje de las vías de los sectores T y U, por medio del programa HY-8, el cual permite realizar cálculos para el análisis de alcantarillas, generación de hidrogramas, desbordamiento de carreteras, perfiles de flujo y estimaciones de drenaje de salida⁷.

Las vías del Conjunto Recreacional tienen un sistema de drenaje compuesto principalmente de alcantarillas transversales y cunetas, la cuales se encuentran distribuidas según las áreas de drenaje, definidas a partir de las curvas de nivel de los sectores T y U⁸.

En caso de obtener resultados donde se identifique que los estudios y diseños no cumplen y pongan en riesgo la vida útil de la vía, se plantearán soluciones que permitan hacer más eficiente el sistema de drenaje. Adicional a esto, se elaborará un manual de manejo del programa HY-8 de fácil comprensión, que permita a otras personas interactuar con el software.

1.2. ANTECEDENTES

Anteriormente el Conjunto Recreacional Mesa de Yeguas, contaba con una sola sede habitacional, en donde sus huéspedes podían disfrutar de todas sus atracciones; a razón del alto número de personas hospedadas en el conjunto, la administración decide aumentar su capacidad, construyendo cuatro sedes habitacionales ubicadas al NOR – ORIENTE, ORIENTE y SUR - ORIENTE de la sede principal, entre ellas se comunican por medio de cuatro (4) alineamientos

⁶ Carmona, R. P. (2013). Diseño de instalaciones de sistemas sanitarios, alcantarillados y drenaje para carreteras. Bogota: Ecoediciones.

⁷ Administration, U. D. (2017). *Introduccion HY8*. Pensilvania.

⁸ LTDA, E. (2014). *Estudios y Diseños de pavimentos vias de los sectores T Y U del Conjunto Mesa de Yeguas*. Bogota.

(tramos de calzada) de doble carril y con doble sentido, con un abscisado total de 3 Km.⁹

Actualmente las alcantarillas, comprenden un diámetro de 36" en PVC corrugado y se encuentran diseñadas para un Periodo de Retorno de 10 años.¹⁰

1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Descripción del problema.

El Conjunto Recreacional Mesa de Yeguas, se ubica una zona rural del Municipio de Anapoima y su terreno es de tipo ondulado. El corredor vial fue diseñado sobre cauces bajos, que conducen su flujo hasta la Quebrada Campos la cual tributa en el Rio Calandaima y posteriormente este lo hace en el Rio Bogotá.

Teniendo en cuenta que la ubicación del proyecto es en una zona rural, el Conjunto Recreacional abarca áreas considerables de vegetación, como los son árboles y arbustos, lo que ocasionan niveles bajos de escorrentía superficial de agua.

Es de resaltar que los diseños se encuentran realizados desde el año 2014 y los diámetros de las alcantarillas son de 36" en PVC corrugado a los que corresponden tienen periodos de retorno de 10 años.

El sector cuenta con una sola estación hidrología llamada Las Mercedes y arroja un promedio de precipitación diaria de 83.48 mm.

La calzada cuenta con un abscisado promedio total de 3 Km en dos carriles. Al realizar la verificación hidráulica del sistema de drenaje anunciado anteriormente, el programa HY8 permitirá cuantificar la capacidad de drenaje del alcantarillado existente con un determinado periodo de retorno, con el fin de determinar el nivel de agua y así evaluar si es desfavorable o no, para los tramos de calzada existente.

1.3.2. Formulación del Problema.

¿El sistema de drenaje vial del tramo T y U del Conjunto Recreacional Campestre Mesa de Yeguas del Municipio de Anapoima, es funcional con el objeto de garantizar el buen estado de la calzada existente?

⁹ H, A., & K, y. D. (2012). *Disminución del volumen de escorrentía en cuencas urbanas mediante tecnologías de drenaje sostenibles*. Costa Rica: XXV congreso latinoamericano de hifraulica.

¹⁰ LTDA, E. (2014). *Estudios y Diseños de pavimentos vias de los sectores T Y U del Conjunto Mesa de Yeguas*. Bogota.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. General.

Verificación hidráulica del drenaje de las vías de los sectores T y U del Conjunto Recreacional Mesa de Yeguas – Anapoima, por medio del programa para análisis de alcantarillas HY-8.

1.4.2. Específicos.

- Determinar la funcionalidad de las alcantarillas de los tramos de la vía seleccionada.
- Realizar un instructivo para el manejo del software HY-8, para la evaluación del comportamiento hidráulico de drenajes viales.
- Presentar posibles soluciones al drenaje de la vía seleccionada según los perfiles y capacidades de flujo mostradas por el programa.

1.5. JUSTIFICACION

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 hidrogramas
- Desbordamiento de carreteras
- Estimaciones de drenaje de salida.
- Perfiles de Flujo

Teniendo en cuenta lo anterior, se pretende utilizar el programa HY8 para realizar la verificación hidráulica del alcantarillado del Conjunto Recreacional Mesa de Yeguas.

1.6. DELIMITACIONES

1.6.1. Espacio.

El Vía donde se realizará el presente estudio, se compone de cuatro (4) alineamientos (tramos de calzada), cada uno con dos carriles y entre ellos suman una longitud aproximada de 3 km.

El alineamiento No. 1 tiene diez (10) alcantarillas que se ubican desde la abscisa K0+014 hasta la abscisa K1+088, el alineamiento No. 2 tiene una (1) alcantarilla ubicada en la abscisa K0+010, el alineamiento No. 3 tiene dos (2) alcantarillas que van desde la abscisa K0+112 hasta la K0+143 y por último el alineamiento N. 4 tiene cuatro (4) alcantarillas entre las abscisas K0+012 y K0+314, cada alcantarilla transversal enunciada previamente comprende periodos de retorno de diez (10) años.

Teniendo en cuenta que el software HY-8 solo está avalado por el INVIAS para el estudio y diseño de alcantarillas transversales, se realizará la verificación hidráulica de cada una relacionadas anteriormente.

1.7. MARCO REFERENCIAL

1.7.1. Marco Teórico.

A continuación, se relacionan proyectos ejecutados, en territorio nacional cuyo objeto se encuentra relacionado con el título de este proyecto.

Consideraciones del sistema de drenaje para el primer tramo de la ruta del sol. Para el drenaje principal del proyecto se definieron cuentas a lo largo de la vía, dos tipos de alcantarillas, circulares 1.10 m de Diámetro y de tipo cajón, teniendo en cuenta caudales de diseño para periodos de retorno de 100 años, secciones mínimas de Box Culverts cuyas dimensiones son de 1.50 m x 1.50 m.¹¹

Teniendo en cuenta las condiciones topográficas del sector, donde se evidencian altas pendientes a lo largo del corredor vial, fue necesario proyectar alcantarillas tipo cajón escalonadas, con el fin de vencer las diferencias de cotas y al mismo tiempo, sirviendo como disipadores de energía. Adicionalmente dentro del proyecto se determinó utilizar un sumidero longitudinal o “Caz” ranura con caída vertical y diámetro de 0.30 m, capaz de transportar un caudal de 100 l/s.

¹¹ PAVCO. (2007). *Manual tecnico novafort novaloc*. Bogota.

Por último, se diseñaron conectores para transportar los caudales captados a través de los sumideros.¹²

1.7.2. Marco Conceptual.

El programa HY8 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 histogramas.

El análisis de alcantarillas es el más importante para la aplicación de drenaje en carreteras, a razón que se compone de un control de entrada y salida del flujo, adicionalmente el programa modela el desbordamiento y el flujo sobre la vía, lo que permite verificar la funcionalidad del alcantarillado con respecto a un determinado periodo de retorno, del cual usualmente es de 10 años según la tabla 2.8 del Manual de Drenaje del INVIAS¹³.

Este programa permite revisar el funcionamiento hidráulico de alcantarillas con secciones circulares o de cualquier otro tipo.

Por último, 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.

A continuación, podrá observar los problemas más comunes relacionados con el drenaje vial:

1. La eliminación del agua superficial de la vía.
2. El cruce de los arroyos o canales artificiales.
3. Alejamiento y regulación del agua subterránea.

El agua superficial en una carretera produce peligros para el tránsito y causan erosión, se infiltran en la sub rasante dejando la capa asfáltica sin adherencia, esto conlleva a un aumento considerable de mantenimientos del corredor vial.¹⁴

¹²Romero, L. D. (2014). *Priemr tramo de la ruta del sol en veremos*. Bogota: Periodico el Tiempo .

¹³Vias, I. n. (2013). *Manual de Diseño geometrico paa carreteras*, INVIAS. Bogota.

¹⁴Alfonso, M. F. (s.f.). *Ingenieria de pavimentos*. Bogota: Universidad Catolica de Colombia .

La determinación de la ubicación de las descargas y las dimensiones del desagüe pluvial, proviene del prejuicio de ingeniería más que de ciencia. ¹⁵El manual de drenaje para carreteras es una guía indispensable para la construcción y diseño de drenaje vial, puesto que Colombia es el cuarto país en el mundo con mayor precipitación y se encuentra dentro del régimen de lluvias de tipo bimodal y/o unimodal, esto conlleva, a que las carreteras se encuentren constantemente húmedas ocasionando un deterioro en la capa asfáltica.¹⁶

1.7.2.1. Programas Aceptados por el Manual.

Para poder realizar los análisis hidrológicos e hidráulicos, rápidos y precisos del drenaje vial, el instituto junto con el Ministerio de Transporte, avalan los siguientes programas anunciados a continuación, y dentro de ellos se encuentra el HY-8 en el que se pretende realizar la verificación hidráulica del drenaje del Conjunto del Municipio de Anapoima.

Tabla 1 Programas para el Cálculo de Alcantarillas

PROGRAMA	HIDROLOGIA	DRENAJE DE LA CORONA	CANALES LATERALES	ALCANTARILLADOS	DRENAJE DEL PAVIMENTO	SOCAVACION
HEC-1	X					
HEC.HMS	X					
HEC-RAS			X	X		X
DRIP		X			X	
PAVDRN		X				
HY-8				X		

Fuente: Instituto Nacional de Vías, Manual de Drenaje para Carreteras, Edición 2009 Pagina 32

Se pretende enfocar el presente trabajo en el Capítulo 4 – Drenaje Superficial del Manual de Drenaje de Carreteras realizado por el Ministerio de Transporte y el INVIAS. Teniendo en cuenta que este utiliza los periodos de retorno de obras de drenaje vial ítem 2.4.3. Para cunetas debe ser de cinco (5) años y para alcantarillas debe de ser de diez (10) años.

1.7.2.2. Alcantarillas.

Las alcantarillas son un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro, comúnmente se manejan circulares y tipo cajón.

¹⁵ Dax, I. R. (2010). *Obras de drenaje en carreteras*. Guatemala: SBI International Holdings AG .

¹⁶ Gerencia, I. d. (2015). *Carreteras ICG*. Fondo editorial.

Su diseño consiste en determinar el diámetro más económico que permita pasar su caudal de diseño sin exceder la carga de entrada teniendo en cuenta criterios de sedimentos y de facilidad de mantenimiento.¹⁷

Las alcantarillas están dispuestas por estructuras de entrada y de salida, obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla respectivamente.

En lo posible la alcantarilla debe conservar la pendiente del terreno natural, en el caso que sea muy fuerte la energía del flujo, la pendiente se podrá disminuir con el fin de garantizar una adecuada entrega de aguas.¹⁸

Se pueden utilizar disipadores de energía como escalones o inclinaciones con el fin de evitar la socavación de materiales.

El software HY8 incorpora análisis de flujo, el cual es indispensable para poder caracterizar el flujo de la alcantarilla con su energía.

1.7.2.3. Hidráulica de Alcantarillas.

En hidráulica, las alcantarillas se definen como conductos cerrados, toda vez que pueden operar con la línea de carga de la corriente de agua por encima de su corona, y por consiguiente trabajar a presión. Una alcantarilla que no trabaje a plena carga opera de la misma manera que un canal abierto.

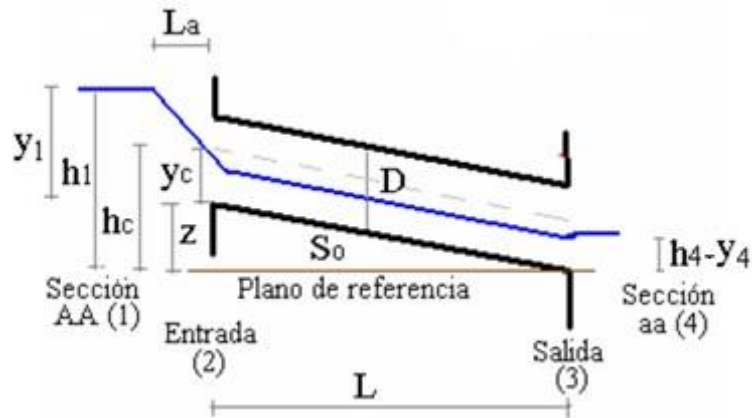
Para el diseño de alcantarillas se requiere de una serie de estudios como Hidrológicos, Topográficos e Hidráulicos.

El gasto de una alcantarilla se determina aplican las ecuaciones de continuidad y de energía entre las secciones de llegada y una sección aguas abajo, ubicado según el tipo de flujo dentro de la alcantarilla.

¹⁷ Dax, I. R. (2010). *Obras de drenaje en carreteras*. Guatemala: SBI International Holdings AG .

¹⁸ [HTTP://WWW.SCIELO.ORG.CO/PDF/RING/N36/N36A11.PDF](http://www.scielo.org.co/pdf/ring/N36/N36A11.pdf). (2017). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático . *Scielo* , Barranquilla.

Ilustración 1 Perfil Hidráulico de Alcantarillas



Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 2.

Donde,

- D Diámetro de la alcantarilla.
- h_1 Tirante en la sección de llegada medido desde el terrero hasta la altura de la lámina de agua.
- h_c Tirante en la sección crítica medido desde el terrero hasta la altura crítica de agua.
- h_4 Tirante en la sección de salida medido desde el terrero hasta la altura de la lámina de agua.
- y_4 Altura de la lámina de agua, igual a h_4 .
- y_1 Altura de la lámina de agua, diferencia entre h_1 y la altura z del terreno.
- y_c Altura de la lámina de agua, diferencia entre h_c y la altura z del terreno.
- L Longitud de la alcantarilla.
- S_0 Pendiente de la alcantarilla.
- S_c Pendiente crítica de la alcantarilla.

1.7.2.4. Tipos de flujo en alcantarillas.

A continuación, se relacionan los tipos de flujo de las alcantarillas, los cuales se definen mediante relaciones entre los niveles en las secciones Aguas Arriba (Headwater h_1) y Aguas Abajo (Tailwater h_4). De igual forma, se adiciona el caudal correspondiente por cada tipo de flujo.¹⁹

¹⁹ E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 2.

- **Tipo 1 Tirante critico a la entrada.**

Ecuación 1 Caudal Tipo 1 Tirante critico en la entrada

$$\frac{h_1 - h_4}{h_4} > 1 \quad \text{---} = \text{---} \quad \frac{2(h_1 - h_4)}{\sqrt{1 + 2 \frac{h_1 - h_4}{h_4} \left(\frac{h_1 - h_4}{h_4} \right)^2}}$$

Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 2.

En este caso las alcantarillas funcionan como una tubería, con entrada y salida ahogadas, y por ende se define como una Alcantarilla Tipo 1.²⁰

- **Tipo 2 Alcantarilla Hidráulicamente Larga.**

Ecuación 2 Caudal Tipo 2 Alcantarilla Hidráulicamente larga

$$\frac{h_1 - h_3}{h_3} \geq 1,5 \quad \text{---} = \text{---} \quad \frac{2(h_1 - h_3)}{\sqrt{1 + 2 \frac{h_1 - h_3}{h_3} \left(\frac{h_1 - h_3}{h_3} \right)^2}}$$

$$\frac{h_4}{h_3} \leq 1$$

Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 3.

En este caso la alcantarilla funciona como una tubería ahogada y salida con flujo lleno. Por ende, este caso se denomina Alcantarilla Hidráulicamente Larga.²¹

- **Tipo 3 Flujo Sub critico en toda la alcantarilla.**

Ecuación 3 Caudal Tipo 3 Flujo Subcritico en toda la alcantarilla

²⁰ E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 3.

²¹ E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 4.

$$\frac{h_{1-2}}{h_0} \geq 1,5$$

$$\frac{h_4}{h_0} \leq 1,0 \quad h_0 = h_0 \sqrt{2g(h_0 - h_{1-2})}$$

Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 3.

En este caso la alcantarilla obtiene las mismas condiciones que el caso anterior. Sin embargo, esta puede funcionar como un orificio por ello es un flujo tipo 3. Por lo anterior, este caso se denomina Alcantarilla Hidráulicamente Corta.²²

- **Tipo 4 Salida ahogada.**

Ecuación 4 Caudal Tipo 4 Salida Ahogada.

$$\frac{h_{1-2}}{h_0} < 1,5$$

$$h_4 < h_0 \quad h_0 = h_0 \sqrt{2g(h_0 - \frac{1}{2}h_0 - h_{1-2})}^{1/2}$$

$$h_0 > h_0$$

Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 4.

En este caso, la alcantarilla tiene condiciones de flujo a superficie libre. Por ende, la alcantarilla funciona como un canal de pendiente fuerte en el régimen supercrítico. Por lo tanto, se obtiene un tirante crítico en la sección de la entrada.²³

- **Tipo 5 Flujo Subcrítico a la entrada.**

Ecuación 5 Caudal Tipo 5 Subcrítico a la entrada.

$$\frac{h_{1-2}}{h_0} < 1,5$$

$$h_4 < h_0 \quad h_0 = h_0 \sqrt{2g(h_0 - \frac{1}{2}h_0 - h_{1-2} - h_{2-3})}^{1/2}$$

²² E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 4.

²³ E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 4.

$$h_4 < h_3$$

Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 4.

En este caso, la alcantarilla tiene condiciones de flujo a superficie libre. Por ende, la alcantarilla funciona como un canal de pendiente suave en el régimen sub crítico, Por lo tanto, se obtiene un tirante crítico a la salida de la alcantarilla. ²⁴

- **Tipo 6 Flujo Subcritico sin tirante critico en ninguna sección.**

Ecuación 6 Caudal Tipo 6 Subcritico sin tirante.

$$\frac{h_1 - h_4}{h_4} < 1,5$$

$$h_4 > h_3 \quad h_4 = \frac{h_3}{2} \sqrt{2 \left(h_1 + \frac{1}{2} h_3 - h_{1-2} - h_{2-3} \right)}$$

$$h_4 > h_2$$

Fuente: E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 5.

En este caso, la alcantarilla funciona en el régimen sub crítico, pero a diferencia de los casos anteriores no alcanza el tirante crítico en ninguna de sus secciones. ²⁵

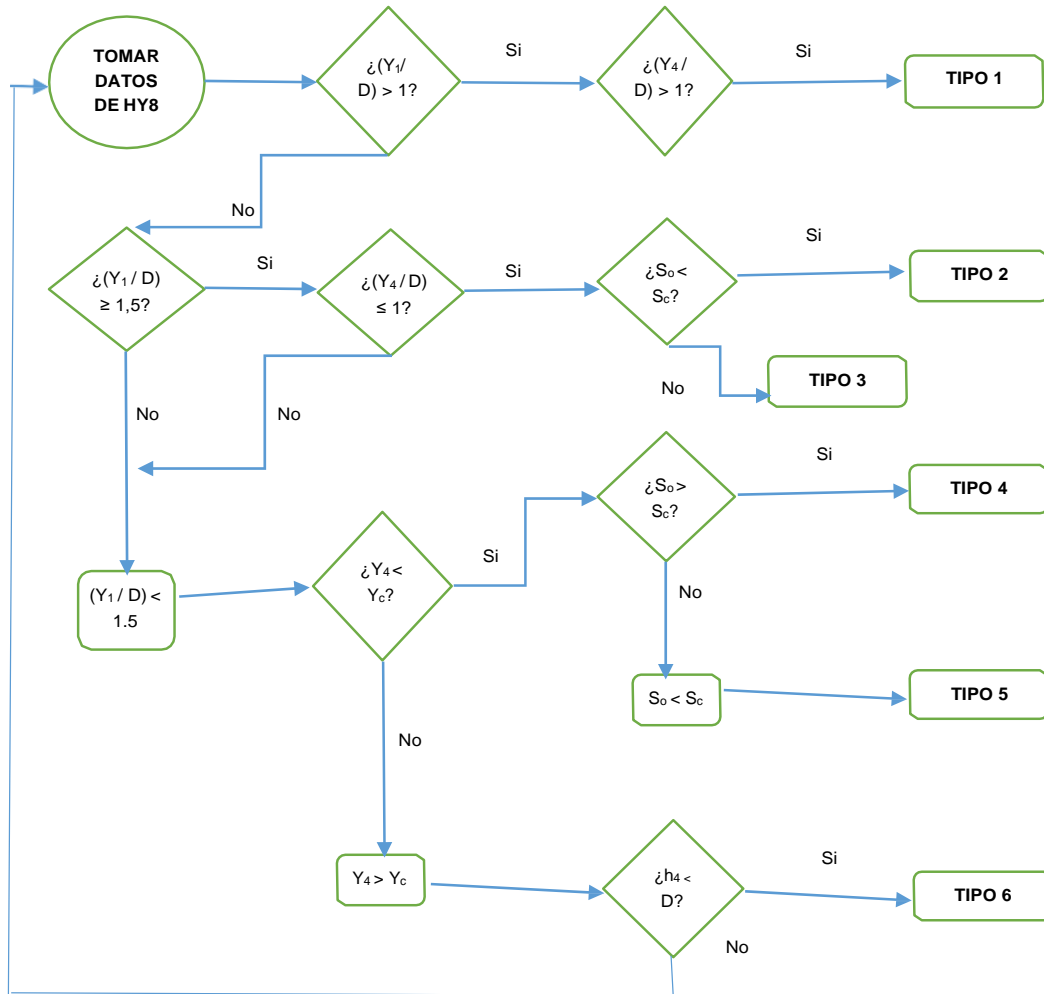
Donde,

CD	Coeficiente de Gasto
Ac	Área de flujo para un tirante critico
U1=V1	Velocidad media en la sección de llegada

²⁴ E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 5.

²⁵ E. Lorenzo, D Bellon & G. López, Universidad de la República de Uruguay, Instituto de Mecánica de Fluidos Edición 2011 Pagina 5.

Ilustración 2 Mapa conceptual de tipos de perfil en alcantarillas.



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta, lo indicado anteriormente, se expone una breve visualización del tipo de flujo de cada alcantarilla.

Ilustración 3 Secciones de Flujo en Alcantarillas

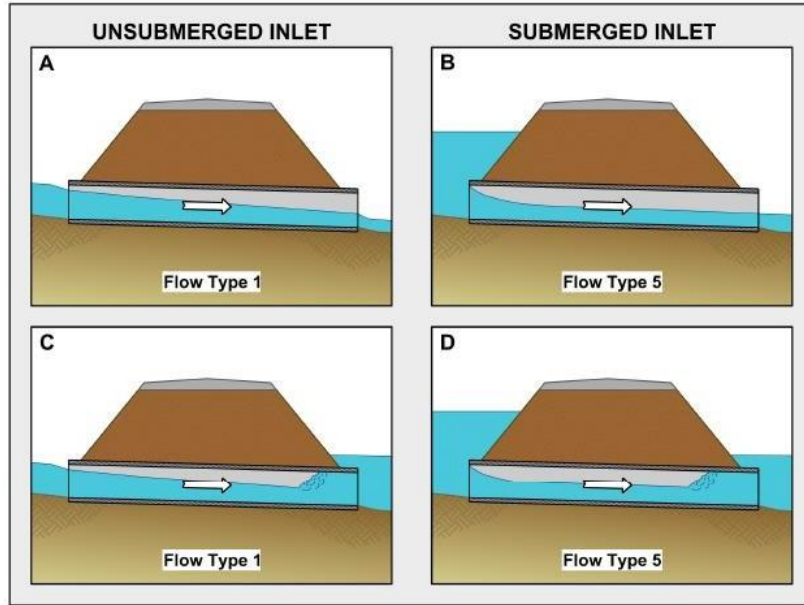


Figure 3.1. Types of inlet control.

Fuente: Ing. José Martín Díaz Arias, Diseño de Obras de Drenaje en carreteras, Editorial Satipo, Edición 2014.

Ilustración 4 Tipos de Flujo en Alcantarillas

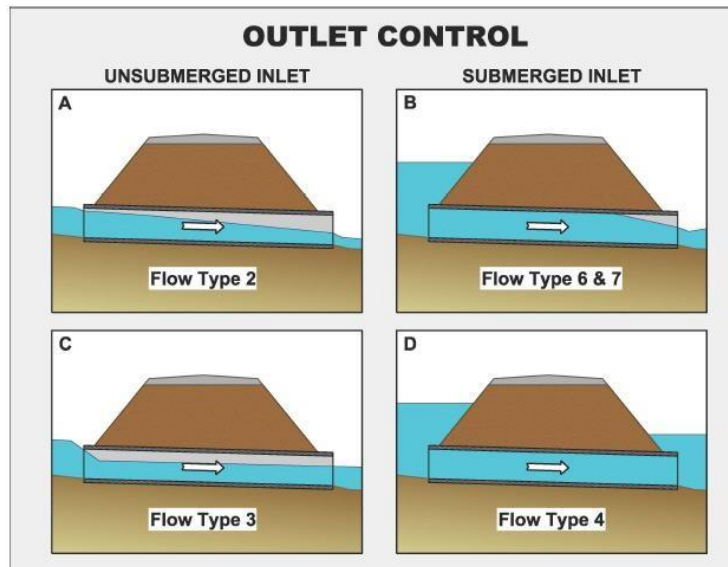


Figure 3.7. Types of outlet control.

Fuente: Ing. José Martín Díaz Arias, Diseño de Obras de Drenaje en carreteras, Editorial Satipo, Edición 2014.

1.7.2.5. Capacidad Hidráulica de las Alcantarillas.

Cuando se diseña una alcantarilla es recomendable diseñar una pendiente igual al del cauce natural, la pendiente debe garantizar la evacuación de los sedimentos ($S_0 > 0.5\%$) conociendo entonces la longitud de la alcantarilla, por ende se propone un valor para D, se deja claro que el Instituto (INVIAS) exigen su diseño y construcción en diámetros de 36" ²⁶. Por ende, previo a su construcción se sabrá definir su tirante, Y_1 .

A la salida de la alcantarilla se espera un nivel de agua cuya profundidad Y_4 , se conoce previamente, por observaciones en el lugar del estudio.

Después de establecer Y_1 y Y_4 , se define el tipo de flujo, según el numeral 1.7.2.4. Tipos de flujo en alcantarillas. Así como la expresión para el caudal atraviesa la alcantarilla, que obviamente también depende del tipo de flujo, y las características de la alcantarilla (longitud, sección, pendiente, rugosidad) en las ecuaciones del gasto de los Tipos de Flujos en alcantarillas.²⁷

Perdida de carga causada por la fricción desde la sección de llegada hasta la entrada a la alcantarilla.

Ecuación 7 Perdida de carga en Alcantarillas.

$$h_{1-2} = \frac{K_1 Q^2}{1.49 R^{4.75}}$$

Fuente: Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 8.

Donde,

Ecuación 8 Factor de Sección.

$$K_1 = \frac{K_1 R^{2/3}}{1.49 R^{4.75}}$$

Fuente: Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 8.

K_1 Factor de sección en la sección 1.

²⁶ INVIAS, I. n. (2008). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogota.

²⁷ Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 8.

Factor de sección donde ocurre el flujo crítico.

Ecuación 9 Factor de sección en flujo crítico.

$$h_{c2} = \frac{h_{c3}^{2/3}}{2}$$

Fuente: Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 9.

Perdida por fricción entre la sección 2 y 3.

Ecuación 10 Factor de sección en flujo crítico.

$$h_{c2-3} = \frac{h_{c3}^2}{2}$$

Fuente: Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 9.

Una vez determinado el gasto se debe comparar su valor con el caudal de escorrentía superficial determinado mediante un estudio hidrológico, obviamente el primero debe ser igual o algo mayor que el segundo, entonces se aceptara un diseño razonable.

Cuando la sumergencia sea incierta, se puede obtener una seguridad mayor en los cálculos suponiendo que la entrada no es sumergida. ²⁸

1.7.2.9 Salida de las Alcantarillas.

Las alcantarillas descargan a un cauce o a una ladera. En el primer caso se sugiere proteger el fondo del cauce contra la socavación y en el segundo dotar de una transición de concreto para reducir la erosión de la ladera o continuar con una obra de conducción. ²⁹

²⁸ Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 10.

²⁹ Revistavial.com. (2017). Criterios y procedimientos de diseño para el drenaje transversal de las rutas nacionales . *Revista vial* .

Ilustración 5 Salida de las alcantarillas

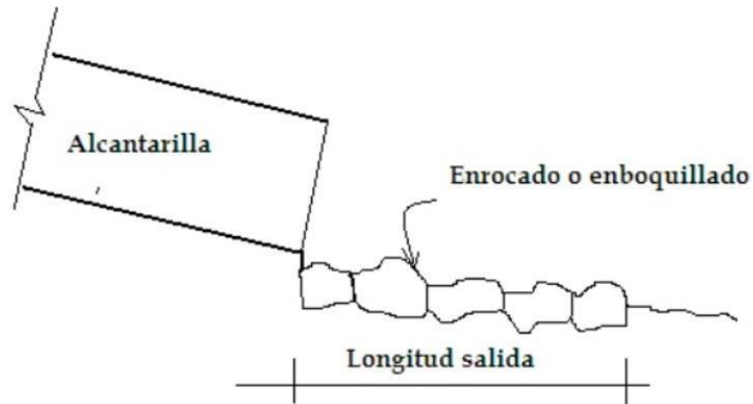


Fig. 10.- Protección de enrocado a la salida de una alcantarilla.

Fuente: Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 10.

1.7.2.10. Fuerza Tractiva

Se define como la fuerza producida por el flujo de agua, tanto en un canal como en una tubería, la fuerza es ejercida sobre los residuos transportados de las cuales si su magnitud supera los 3 KN/m², los residuos son arrastrados hasta el final de la alcantarilla, pero si su magnitud es inferior se concluye que los residuos se sedimentan, ocasionando una interferencia en el flujo y posteriormente una acumulación importante de sedimentos dentro de la tubería.³⁰

Se calcula la Fuerza Tractiva a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 10 Fuerza tractiva.

$$F = \gamma \cdot R^2 \cdot S$$

Fuente: Richard Untermann, Principles and Practices of Gradins, Drainage, and Road Alignment: An Ecologic approach, USA, Año 1987 first edition.

Peso específico del Agua = γ

Radio Hidráulico = RH

Pendiente del Canal o Tubería = S

1.7.2.11. Pendiente Crítica

³⁰ INVIAS, I. n. (2008). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogota.

Se define como la pendiente existente en la línea de energía crítica del flujo, definida como tirante crítico, su cálculo se demuestra a continuación.

Ecuación 11 Fuerza tractiva.

$$S_c = \frac{H_o - H_f}{L}$$

Fuente: Ing. Francisco Huamán Vidaurre, Obras de Arte (Alcantarillas) Edición: 2011 Pagina 9.

Cota de Inicio de la Línea de Energía Crítica = σ_o

Cota final de la Línea de Energía Crítica = σ_f

Longitud del Tramo a analizar = l

1.8. METODOLOGÍA

1.8.1. Tipo de Estudio.

El presente estudio, corresponde a una verificación hidráulica realizada en las alcantarillas del Conjunto Mesa de Yeguas, con el fin de poder determinar, si su dimensionamiento, es apto para futuras precipitaciones locales.

1.8.2. Fuentes de Información.

A continuación, se relaciona las fuentes de información necesarias para la elaboración de este trabajo:

- Estudios y Diseños de Pavimentos Vías de los sectores T y U del Conjunto Recreacional Campestre Mesa de Yeguas. - Emprociv Ltda
- Manual de Drenaje de la Federal Highway Administration

1.9. DISEÑO METODOLOGICO

Fase 1 – Verificación y Consolidación de Información.

Verificar y Consolidar toda la Información del Proyecto, con el fin de planear y preveer toda la ejecución del título del proyecto.

Fase 2 – Ejecución del Proyecto - Revisión de Resultados.

Posterior a la visita se realizará una modelación del drenaje en HY-8 para luego analizar sus resultados.

Fase 3 – Presentación de las Posibles Soluciones.

Según los resultados arrojados por el programa, serán socializados al Director de Trabajo de Grado Felipe Santamaria Alzate, las diferentes soluciones obtenidas luego de la modelación, adicionalmente se presentará el manual de manejo del programa HY8.

1.10. INFORME DE VERIFICACIONES HIDRAULICAS EN HY8.

1.10.1. Resultados del Programa.

A continuación, se relacionan los resultados arrojados por el programa HY8, con los cuales se caracterizó el perfil de flujo al que pertenece cada alcantarilla.

Adicionalmente, se deja constancia de las siguientes características con las que se empleó el programa y de las cuales fueron tomadas de acuerdo con la Consultoría y Construcción realizada por la firma EMPROSIV LTDA mostrada a continuación:

Ilustración 6 Datos de entrada.

ALINEA-MIENTO	ID ALCANTARILLA	ÁREA	Tc	i mm/h	C	Q	Longitud	Diámetro	Diámetro
1	ALC_00	0.54 ha	15.00 min	139.77	0.36	75.48 l/s	12.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_01	8.17 ha	17.16 min	127.89	0.36	1044.90 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_02	1.08 ha	15.00 min	139.77	0.36	150.95 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_03	3.69 ha	15.00 min	139.77	0.36	515.75 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_04	0.48 ha	15.00 min	139.77	0.36	67.09 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_05	0.78 ha	15.00 min	139.77	0.36	109.02 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_06	0.98 ha	15.00 min	139.77	0.36	136.97 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_07	7.07 ha	17.51 min	126.20	0.36	892.25 l/s	18.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_08	2.93 ha	15.00 min	139.77	0.36	409.53 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
1	ALC_09	6.47 ha	15.56 min	136.43	0.36	882.70 l/s	15.00 m	0.90 m	36"
2	ALC_10	0.74 ha	15.00 min	139.77	0.36	103.43 l/s	12.00 m	0.90 m	36"
3	ALC_11	0.21 ha	15.00 min	139.77	0.36	29.35 l/s	12.00 m	0.90 m	36"
3	ALC_12	3.72 ha	15.00 min	139.77	0.36	519.94 l/s	12.00 m	0.90 m	36"
4	ALC_13	0.24 ha	15.00 min	139.77	0.36	33.54 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
4	ALC_14	1.57 ha	15.00 min	139.77	0.36	219.44 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
4	ALC_15	1.51 ha	15.00 min	139.77	0.36	211.05 l/s	9.00 m	0.90 m	36"
4	ALC_16	1.43 ha	15.00 min	139.77	0.36	199.87 l/s	9.00 m	0.90 m	36"

Fuente: EMPROSIV LTDA Diseño y Consultoría de Mesa de Yeguas Caudales de Diseño Pagina 7.

Ilustración 7 Datos de entrada.

ID ALCANTARILLA	No. Tubos	Pendiente (%)	n Manning	Q ₀	Q/Q ₀	V ₀
ALC_00	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.06	2.01 m/s
ALC_01	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.82	2.01 m/s
ALC_02	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.12	2.01 m/s
ALC_03	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.40	2.01 m/s
ALC_04	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.05	2.01 m/s
ALC_05	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.09	2.01 m/s
ALC_06	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.11	2.01 m/s
ALC_07	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.70	2.01 m/s
ALC_08	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.32	2.01 m/s
ALC_09	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.69	2.01 m/s
ALC_10	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.08	2.01 m/s
ALC_11	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.02	2.01 m/s
ALC_12	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.41	2.01 m/s
ALC_13	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.03	2.01 m/s
ALC_14	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.17	2.01 m/s
ALC_15	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.16	2.01 m/s
ALC_16	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.16	2.01 m/s

Fuente: EMPROSIV LTDA Diseño y Consultoría de Mesa de Yeguas Caudales de Diseño Pagina 7.

Ilustración 8 Datos de entrada

TABLA DEL CÁLCULO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS

ALINEA- MIENTO	ID ALCANTARILLA	ÁREA	Tc	i mm/h	C	Q	Longitud	Diámetro		No. Tubos	Pendiente (%)	n Manning	Qo	Q/Qo	Vo
1	ALC_00	0.54 ha	15.00 min	139.77	0.36	75.48 l/s	12.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.06	2.01 m/s
1	ALC_01	8.17 ha	17.16 min	127.89	0.36	1044.90 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.82	2.01 m/s
1	ALC_02	1.08 ha	15.00 min	139.77	0.36	150.95 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.12	2.01 m/s
1	ALC_03	3.69 ha	15.00 min	139.77	0.36	515.75 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.40	2.01 m/s
1	ALC_04	0.48 ha	15.00 min	139.77	0.36	67.09 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.05	2.01 m/s
1	ALC_05	0.78 ha	15.00 min	139.77	0.36	109.02 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.09	2.01 m/s
1	ALC_06	0.98 ha	15.00 min	139.77	0.36	136.97 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.11	2.01 m/s
1	ALC_07	7.07 ha	17.51 min	126.20	0.36	892.25 l/s	18.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.70	2.01 m/s
1	ALC_08	2.93 ha	15.00 min	139.77	0.36	409.53 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.32	2.01 m/s
1	ALC_09	6.47 ha	15.56 min	136.43	0.36	882.70 l/s	15.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.69	2.01 m/s
2	ALC_10	0.74 ha	15.00 min	139.77	0.36	103.43 l/s	12.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.08	2.01 m/s
3	ALC_11	0.21 ha	15.00 min	139.77	0.36	29.35 l/s	12.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.02	2.01 m/s
3	ALC_12	3.72 ha	15.00 min	139.77	0.36	519.94 l/s	12.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.41	2.01 m/s
4	ALC_13	0.24 ha	15.00 min	139.77	0.36	33.54 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.03	2.01 m/s
4	ALC_14	1.57 ha	15.00 min	139.77	0.36	219.44 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.17	2.01 m/s
4	ALC_15	1.51 ha	15.00 min	139.77	0.36	211.05 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.16	2.01 m/s
4	ALC_16	1.43 ha	15.00 min	139.77	0.36	199.87 l/s	9.00 m	0.90 m	36"	1	0.5%	0.013	1280.08 l/s	0.16	2.01 m/s

Fuente: EMPROSIV LTDA Diseño y Consultoría de Mesa de Yeguas Caudales de Diseño Pagina 7.

El material seleccionado para el análisis de las alcantarillas fue en concreto, puesto que la rugosidad de manning que está relacionada en la imagen 7 y además está en estudios de diseño realizado por Emproshiv Ltda.

Tabla 2 Resultados Arrojadados por el programa HY8

ALCANTARILLA	Q _D (m ³ /s)	Diámetro (m)	Y ₁ (m)	Y ₄ (m)	Y _c (m)	Z (m)
0	0,080	0.9114	0,220	0,080	0,160	0,560
1	1,040	0.9114	0,940	0,460	0,600	0,540
2	0,150	0.9114	0,300	0,120	0,220	0,050
3	0,520	0.9114	0,610	0,280	0,420	0,250
4	0,070	0.9114	0,200	0,070	0,150	0,040
5	0,110	0.9114	0,250	0,100	0,190	0,240
6	0,140	0.9114	0,290	0,120	0,210	0,450
7	0,890	0.9114	0,850	0,410	0,550	0,590
8	0,410	0.9114	0,520	0,240	0,370	0,550

9	0,880	0.9114	0,840	0,410	0,550	0,070
10	0,100	0.9114	0,240	0,090	0,180	0,560
11	0,030	0.9114	0,150	0,040	0,090	0,600
12	0,520	0.9114	0,610	0,280	0,420	0,060
13	0,030	0.9114	0,030	0,040	0,010	0,550
14	0,220	0.9114	0,370	0,150	0,270	0,050
15	0,210	0.9114	0,360	0,150	0,260	0,540
16	0,200	0.9114	0,350	0,150	0,250	0,040

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

1.10.2. Determinación de Perfiles de Flujo por Alcantarilla.

Con los resultados obtenidos con el programa HY8, se procede a determinar el tipo de flujo de cada alcantarilla según el numeral 1.6.2.3. Hidráulica de Alcantarillas.

Tabla 3 Datos de entrada Alcantarilla 00

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 00	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,08
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,22
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,08
Y _c : Altura crítica (Critical depth) (m)	0,16
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,56

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primera Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.24 < 1.50$$

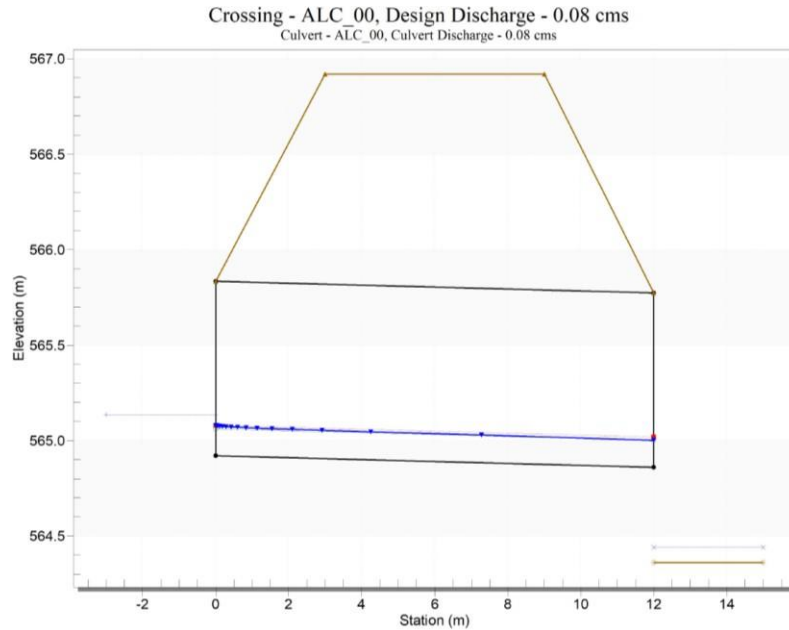
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.08 < h_c : 0.73$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_0 : 0.60\%$$

Ilustración 9 Perfil de Flujo Alcantarilla 00



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 4 Datos de entrada Alcantarilla 01.

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 01	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	1,04
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,94
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,46
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,60
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,54

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

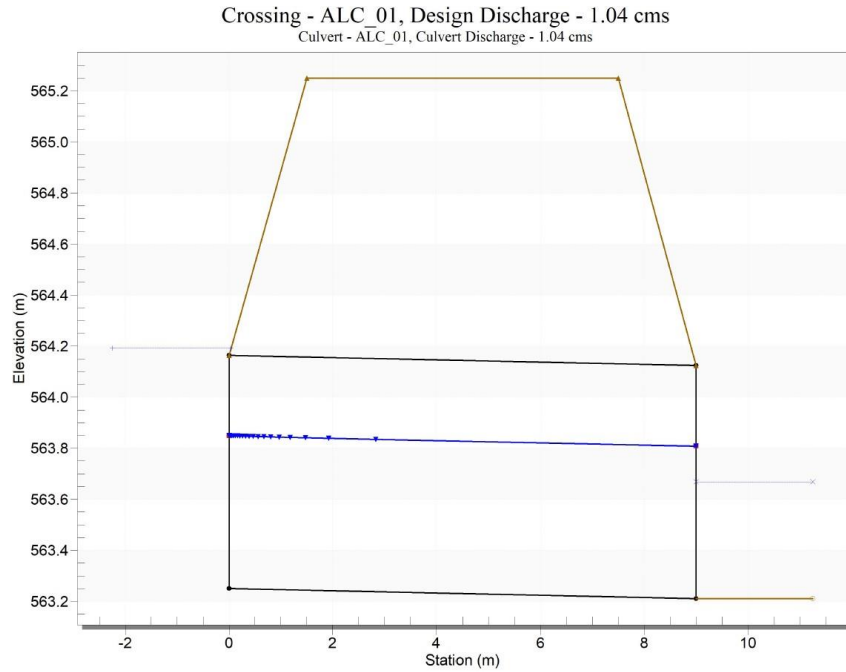
Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{1}{\square} : 1.03 < 1.50$$

Segundo Condicional: Verdadero.
 $h_4: 0.46 < h_0: 1.14$

Entonces: Verdadero.
 $\square_0: 0.50\% > \square_4: 0.4\%$

Ilustración 10 Perfil de Flujo Alcantarilla 01



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 5 Datos de Entrada Alcantarilla 02

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 02	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,15
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,30
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,12
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,22
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,05

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.33 < 1.50$$

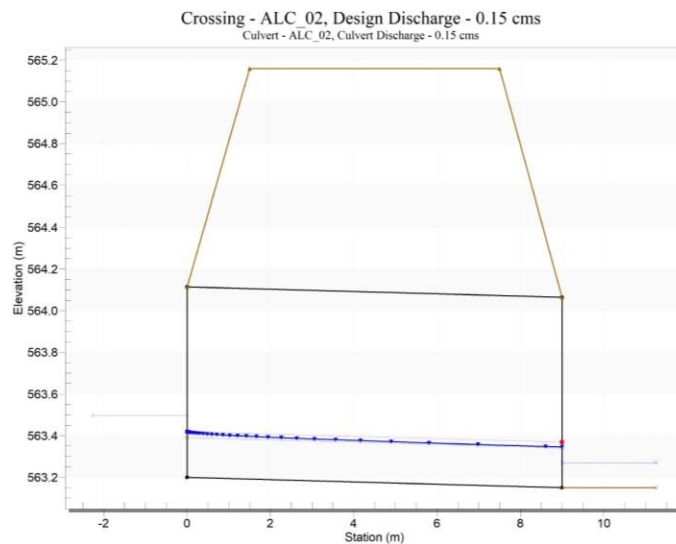
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.12 < h_c : 0.27$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_c : 0.53\%$$

Ilustración 11 Perfil de Flujo Alcantarilla 02



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 6 Datos de Entrada Alcantarilla 03

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 03	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,52
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,61
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,28
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,42
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,25

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.67 < 1.50$$

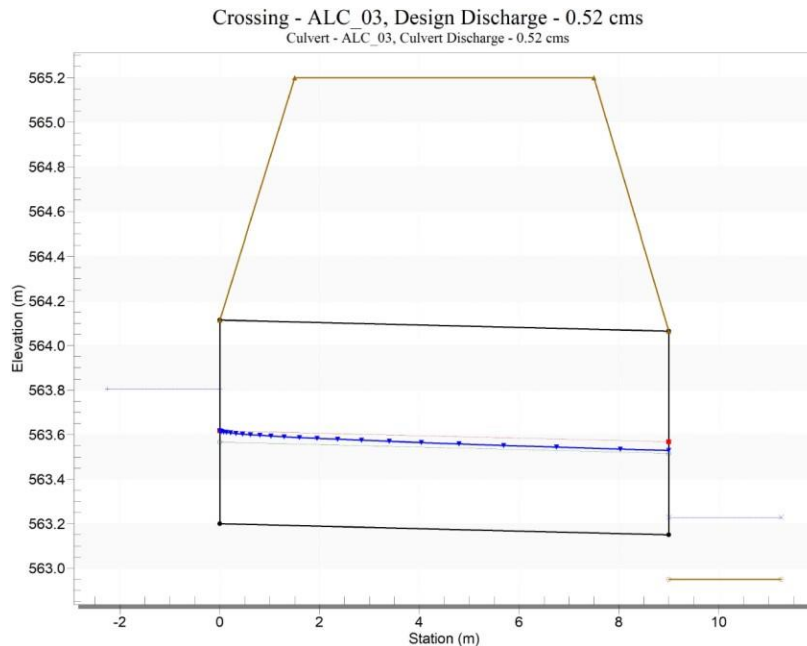
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.28 < h_1 : 0.67$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_c : 0.53\%$$

Ilustración 12 Perfil de Flujo Alcantarilla 03



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 7 Datos de Entrada Alcantarilla 04

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 04	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,07
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,20
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,07
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,15
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,04

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.22 < 1.50$$

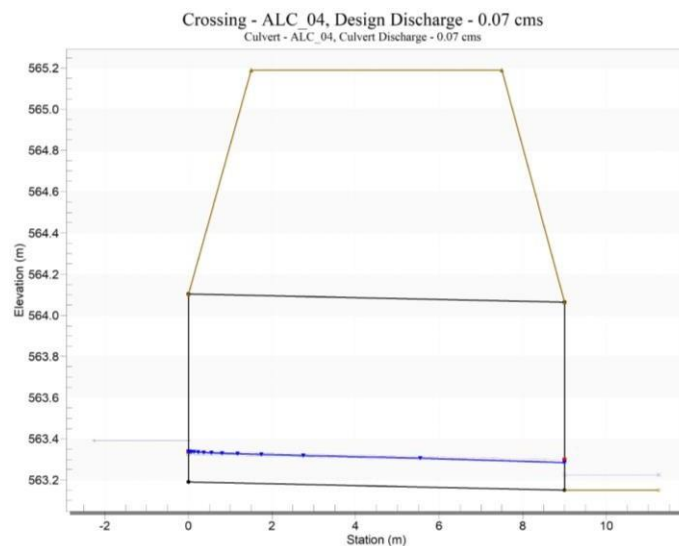
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.07 < h_c : 0.19$$

Entonces: Verdadero.

$$S_1 : 0.50\% > S_2 : 0.4\%$$

Ilustración 13 Perfil de Flujo Alcantarilla 04



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 8 Datos de Entrada Alcantarilla 05

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 05	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,11
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,25
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,10
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,19
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,24

Tabla 9 Datos de Entrada Alcantarilla 05

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.27 < 1.50$$

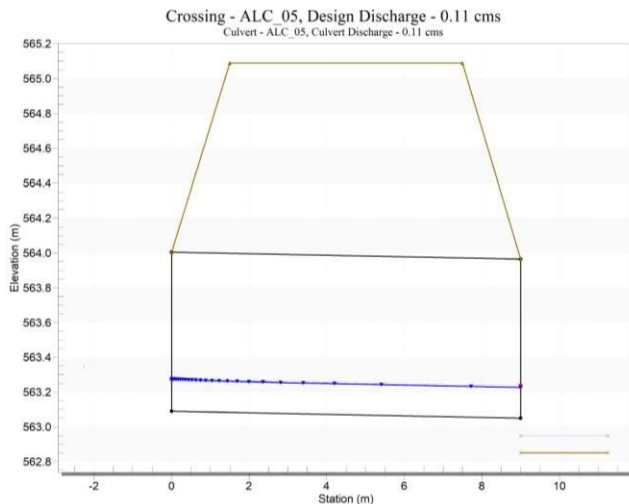
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.10 < h_c : 0.43$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% > S_c : 0.44\%$$

Ilustración 14 Perfil de Flujo Alcantarilla 05



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 10 Datos de Entrada Alcantarilla 06

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 06	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,14
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,29
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,12
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,21
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,45

Tabla 11 Datos de Entrada Alcantarilla 06

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.32 < 1.50$$

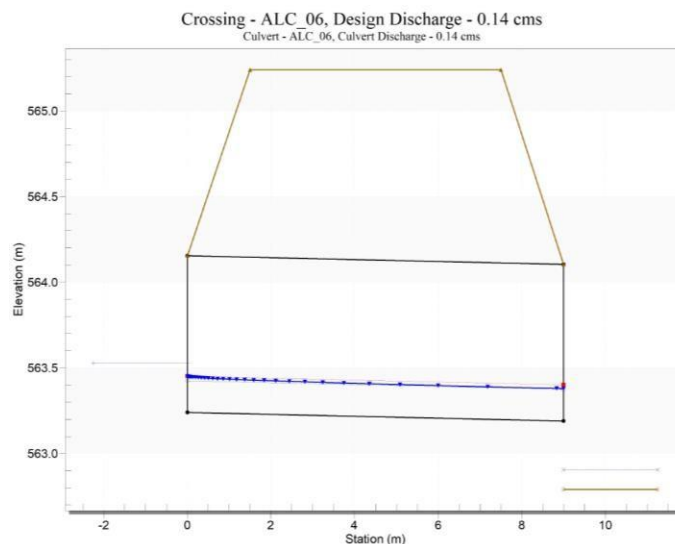
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.12 < h_c : 0.66$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_c : 0.53\%$$

Ilustración 15 Perfil de Flujo Alcantarilla 06



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 12 Datos de Entrada Alcantarilla 07

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 07	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,89
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,85
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,41
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,55
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,59

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.93 < 1.50$$

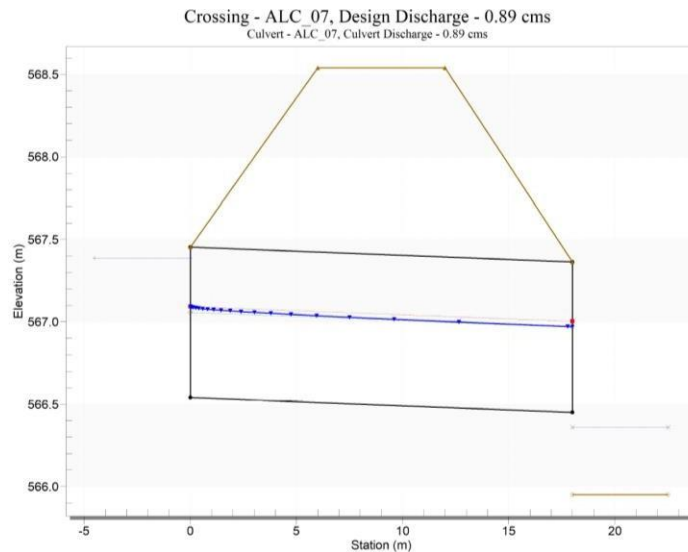
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.41 < h_c : 1.14$$

Entonces: Verdadero.

$$S : 0.50\% < S_c : 0.53\%$$

Ilustración 16 Perfil de Flujo Alcantarilla 07



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 13 Datos de Entrada Alcantarilla 08

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 08	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,41
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,52
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,24
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,37
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,55

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{Y_1}{D} : 0.56 < 1.50$$

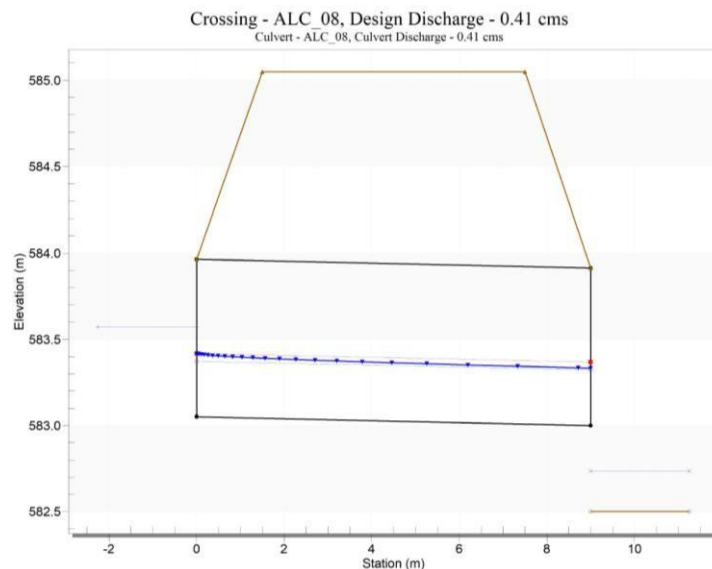
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.24 < h_c : 0.92$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_c : 0.53\%$$

Ilustración 17 Perfil de Flujo Alcantarilla 08



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 14 Datos de Entrada Alcantarilla 09

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 09	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,88
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,84
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,41
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,55
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,07

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.91 < 1.50$$

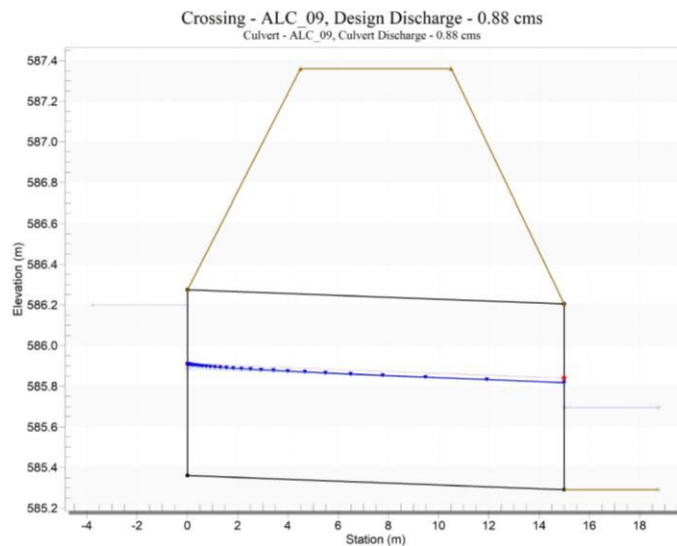
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.41 > h_c : 0.62$$

Entonces: Verdadero.

$$S_1 : 0.50\% > S_2 : 0.48\%$$

Ilustración 18 Perfil de Flujo Alcantarilla 09



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 15 Datos de Entrada Alcantarilla 10

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 10	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,10
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,24
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,09
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,18
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,56

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.26 < 1.50$$

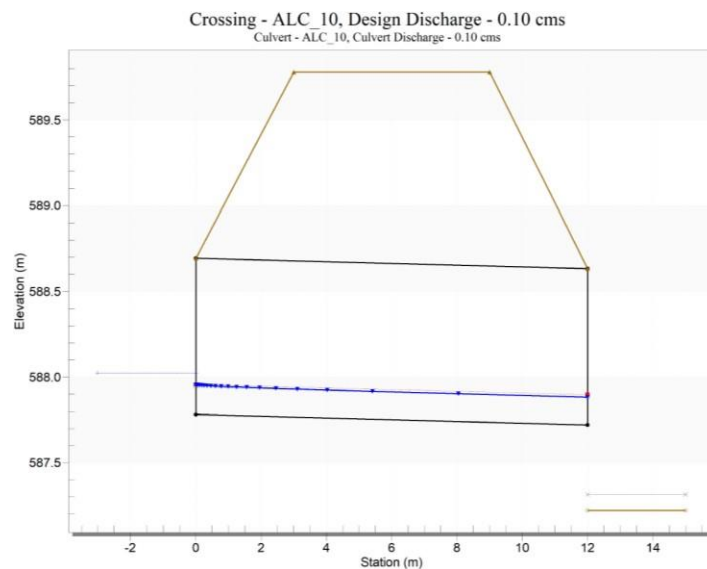
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.09 < h_c : 0.18$$

Entonces Condicional: Verdadero.

$$S : 0.50\% < S_c : 0.60\%$$

Ilustración 19 Perfil de Flujo Alcantarilla 10



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 16 Datos de Entrada Alcantarilla 11

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 11	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,03
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,15
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,04
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,09
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,60

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.16 < 1.50$$

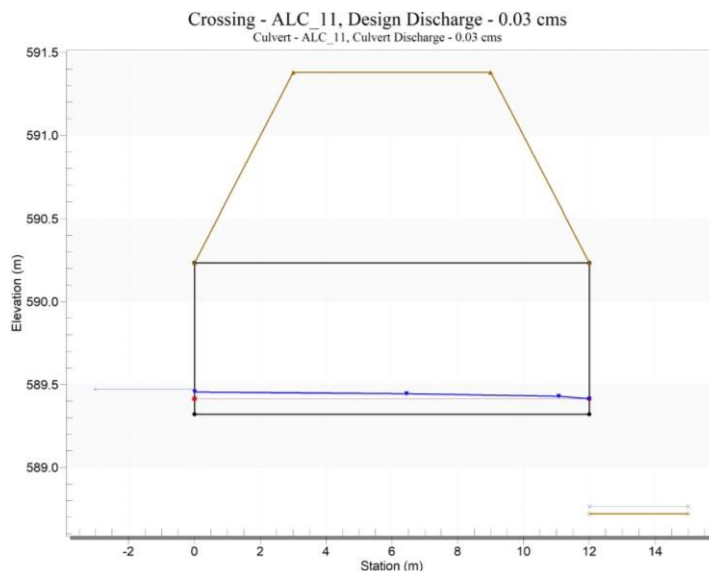
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.04 < h_c : 0.69$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% > S_c : 0.10\%$$

Ilustración 20 Perfil de Flujo Alcantarilla 11



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 17 Datos de Entrada Alcantarilla 12

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 12	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,52
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,61
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,28
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,42
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,06

Tabla 18 Datos de Entrada Alcantarilla 12

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.66 < 1.50$$

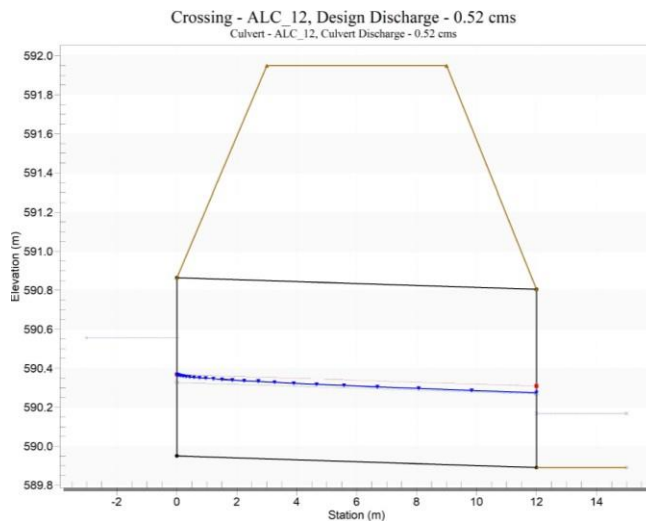
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.28 < h_c : 0.48$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_0 : 0.60\%$$

Ilustración 21 Perfil de Flujo Alcantarilla 12



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 19 Datos de Entrada Alcantarilla 13

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 13	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,03
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,03
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,04
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,01
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,55

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$h_1 > 1.50$$

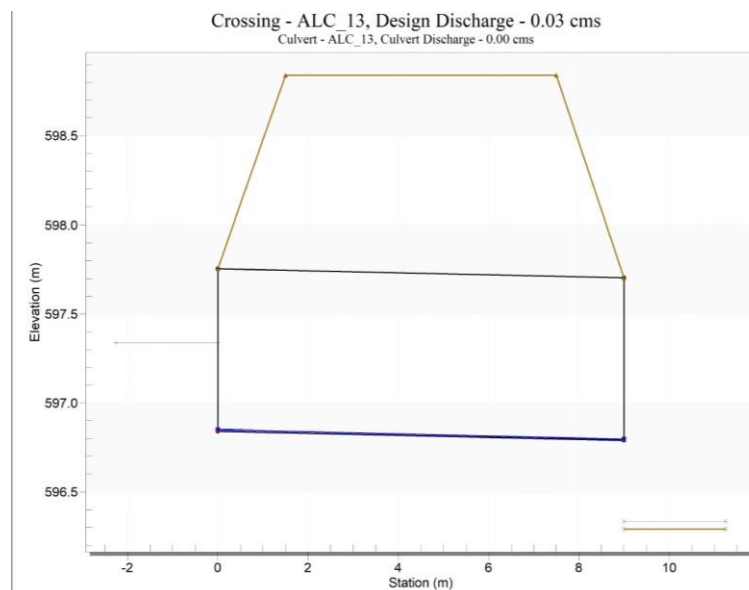
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 < 0.56$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 < S_c$$

Ilustración 22 Perfil de Flujo Alcantarilla 13



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 20 Datos de Entrada Alcantarilla 14

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 14	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,22
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,37
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,15
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,27
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,05

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.40 < 1.50$$

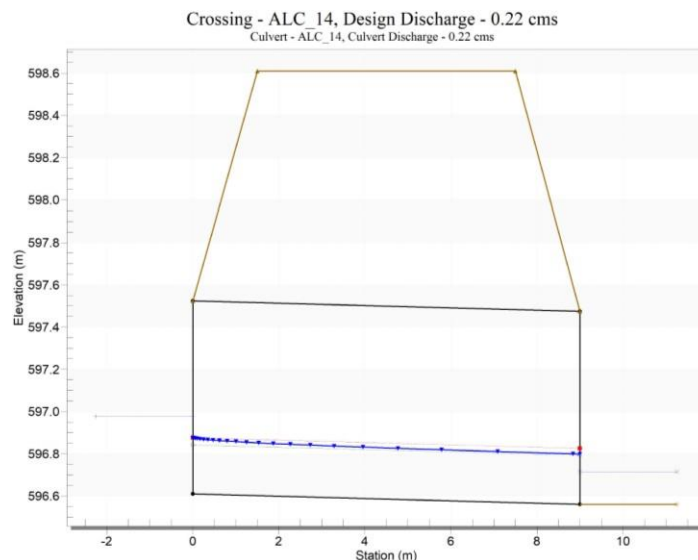
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.15 < h_c : 0.32$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% < S_c : 0.53\%$$

Ilustración 23 Perfil de Flujo Alcantarilla 14



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 5.

Tabla 21 Datos de Entrada Alcantarilla 15

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 15	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,21
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,36
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,15
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,26
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,54

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.66 < 1.50$$

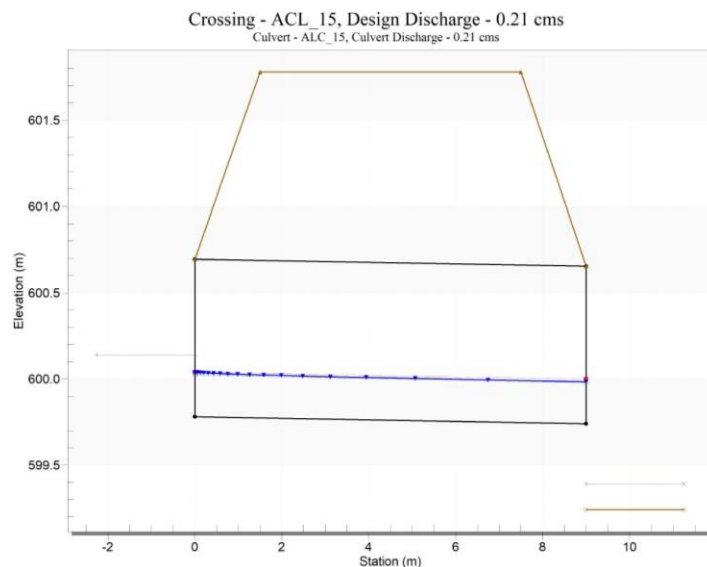
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.15 < h_c : 0.80$$

Entonces: Verdadero.

$$S_1 : 0.50\% > S_2 : 0.44\%$$

Ilustración 24 Perfil de Flujo Alcantarilla 15



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

Tabla 22 Datos de Entrada Alcantarilla 16

DATOS DE ENTRADA ALCANTARILLA 16	
Q _D : Caudal de Diseño (m ³ /s)	0,20
Y ₁ : Tirante en la entrada de la alcantarilla (Inlet control depth) (m)	0,35
D: Diámetro (Diameter) (m)	0,9114
Y ₄ : Tirante en la salida de la alcantarilla (Tailwater depth) (m)	0,15
Y _c : Altura critica (Critical depth) (m)	0,25
Z: Elevación de la Alcantarilla en la Entrada (Elevation) (m)	0,04

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Primer Condicional: Verdadero.

$$\frac{h_1}{D} : 0.38 < 1.50$$

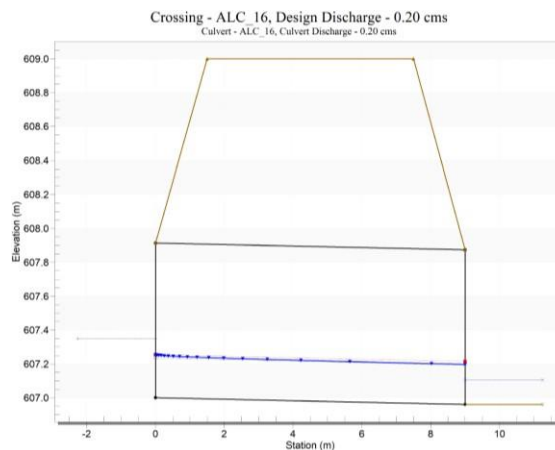
Segundo Condicional: Verdadero.

$$h_4 : 0.15 < h_c : 0.29$$

Entonces: Verdadero.

$$S_0 : 0.50\% > S_c : 0.44\%$$

Ilustración 25 Perfil de Flujo Alcantarilla 16



Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se concluye un flujo de Tipo 4.

CONSOLIDADO DE ALCANTARILLAS POR TIPOS DE FLUJO

Tabla 23 Consolidado de Alcantarillas

DESCRIPCION	TIPO DE FLUJO
Alcantarilla 00	Tipo 05
Alcantarilla 01	Tipo 04
Alcantarilla 02	Tipo 05
Alcantarilla 03	Tipo 04
Alcantarilla 04	Tipo 04
Alcantarilla 05	Tipo 04
Alcantarilla 06	Tipo 05
Alcantarilla 07	Tipo 05

DESCRIPCION	TIPO DE FLUJO
Alcantarilla 08	Tipo 05
Alcantarilla 09	Tipo 04
Alcantarilla 10	Tipo 05
Alcantarilla 11	Tipo 04
Alcantarilla 12	Tipo 05
Alcantarilla 13	Tipo 05
Alcantarilla 14	Tipo 05
Alcantarilla 15	Tipo 04
Alcantarilla 16	Tipo 04

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

1.15.3. Fuerza Tractiva en Alcantarillas.

Teniendo en cuenta, la tabla 18 referenciada anteriormente se evidencia que de las 17 alcantarillas 9 pertenecen a flujo tipo 5. Por lo tanto, es indispensable revisar la fuerza tractiva en estas alcantarillas, con el objeto de verificar que no se produzca acumulamiento de sedimentos en su interior. Toda vez que, según lo explicado en el trabajo de grado, las cantarillas de Flujo Tipo 5 trabajan en el régimen subcritico, por ende, su energía no es la suficiente para la remoción y arrastre de sedimentos.

Del numeral 1.7.2.10 Fuerza Tractiva, con el fin de verificar la correcta remoción de sedimentos:

Tabla 24 Fuerza Tractiva para Alcantarillas

ALCANTARILLA	PESO ESPECIFICO DEL AGUA (KN/m ³)	DIAMETRO ALCANTARILLA (m)	Y ₄ (m)	AREA MOJADA (m ²)	ANCHO DE LA LAMINA (m)	PERIMETRO MOJADO (m)	RADIO HIDRAULICO (m)	PENDIENTE DE LA ALCANTARILLA	FUERZA TRACTIVA (N/m ²)	FUERZA TRACTIVA > 3 (N/m ²)
00	9.81	0.914	0.08	0.031	0.260	1.520	0.020	0.50%	1.000	NO
1	9.81	0.914	0.46	0.409	0.451	3.500	0.117	0.50%	5.732	SI
2	9.81	0.914	0.12	0.044	0.310	1.850	0.024	0.50%	1.167	NO
3	9.81	0.914	0.28	0.164	0.420	2.790	0.059	0.50%	2.883	NO
4	9.81	0.914	0.07	0.024	0.244	1.420	0.017	0.50%	0.829	NO
5	9.81	0.914	0.10	0.036	0.280	1.690	0.021	0.50%	1.045	NO
6	9.81	0.914	0.12	0.044	0.310	1.850	0.024	0.50%	1.167	NO
7	9.81	0.914	0.41	0.276	0.450	3.320	0.083	0.50%	4.078	SI
8	9.81	0.914	0.24	0.130	0.400	2.590	0.050	0.50%	2.462	NO
9	9.81	0.914	0.41	0.276	0.450	3.320	0.083	0.50%	4.078	SI
10	9.81	0.914	0.09	0.028	0.270	1.610	0.017	0.50%	0.853	NO
11	9.81	0.914	0.04	0.010	0.187	1.070	0.009	0.50%	0.458	NO
12	9.81	0.914	0.28	0.164	0.420	2.790	0.059	0.50%	2.883	NO
13	9.81	0.914	0.04	0.010	0.187	1.070	0.009	0.50%	0.458	NO
14	9.81	0.914	0.15	0.078	0.310	2.060	0.038	0.50%	1.857	NO
15	9.81	0.914	0.15	0.078	0.310	2.060	0.038	0.50%	1.857	NO
16	9.81	0.914	0.15	0.078	0.310	2.060	0.038	0.50%	1.857	NO

Fuente: Autores del presente trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Año 2017.

Nota: las alcantarillas marcadas en amarillo no cumplen con la fuerza tractiva sugerida por el Manual de Drenaje para Carreteras de INVIAS, que indica debe ser mayor a 3 N/m².

1.16. ANALISIS DE RESULTADOS.

1.16.1. Perfiles de Flujo y Fuerza Tractiva por Alcantarilla.

Alcantarilla 00.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcritico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua critica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 0.99 m/s y fuerza atractiva de 1 N/m² es posible

que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 01.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 2.27 m/s y fuerza atractiva de 5.73 N/m². Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla. Se debe resaltar, que esta alcantarilla es la que más tributa caudal.

Alcantarilla 02.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcrítico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 1.24 m/s y fuerza atractiva de 1.16 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 03.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 1.87 m/s y fuerza atractiva de 2.88 N/m². es posible que se presente una sedimentación moderada, debido al régimen supercrítico y fuerza atractiva menor a 3 N/m². Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la

alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla.

Alcantarilla 04.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 0.95 m/s y fuerza atractiva de 0.83 N/m². es posible que se presente sedimentación, a pesar un buen escurrimiento, debido al régimen supercrítico y fuerza atractiva menor a 3 N/m². Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla.

Alcantarilla 05.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 1.12 m/s y fuerza atractiva de 1.04 N/m². es posible que se presente sedimentación, a pesar de tener un buen escurrimiento, debido al régimen supercrítico y fuerza atractiva menor a 3 N/m². Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear

estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla.

Alcantarilla 06.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcritico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 1.22 m/s y fuerza atractiva de 1.17 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 07

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcritico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según la velocidad de 2.18 m/s y fuerza atractiva de 4.07 N/m², no se presenta sedimentación, a pesar de estar en un régimen subcritico, su caudal permite un mayor radio hidráulico lo que aumenta su fuerza atractiva. Se debe resaltar, que es una de las alcantarillas que más tributa caudal. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 08.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcritico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 1.74 m/s y fuerza atractiva de 2.46 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 09.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 2.17 m/s y fuerza atractiva de 4.07 N/m². Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla. Se debe resaltar, que esta alcantarilla es una de las que más tributa caudal.

Alcantarilla 10.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcrítico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 0.08 m/s y fuerza atractiva de 0.85 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 11.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 0.69 m/s y fuerza atractiva de 0.46 N/m². es posible que se presente sedimentación, a pesar de tener un buen escurrimiento, debido al régimen supercrítico y fuerza atractiva menor a 3 N/m². Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear

estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla.

Alcantarilla 12.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcrítico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 1.87 m/s y fuerza atractiva de 2.88 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 13.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcrítico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 0.69 m/s y fuerza atractiva de 0.45 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 14.

Esta alcantarilla es de tipo 5, flujo subcrítico en la salida, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es menor a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, todo esto indica que a alcantarilla tendrá un escurrimiento lento en la salida y según baja velocidad de 1.42 m/s y fuerza atractiva de 1.86 N/m² es posible que se presente sedimentación. Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Alcantarilla 15.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5 , el

tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 1.40 m/s y fuerza atractiva de 1.86 N/m². es posible que se presente una sedimentación moderada, debido al régimen supercrítico y fuerza atractiva menor a 3 N/m². Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla.

Alcantarilla 16.

Esta alcantarilla es de tipo 4, flujo supercrítico en la entrada, debido a que al realizar las 6 iteraciones correspondientes a cada tipo de flujo se puede observar que la relación entre el tirante en la sección de llegada y el diámetro es menor a 1.5, el tirante en la sección de salida es menor al nivel de agua crítico más la elevación z y la pendiente de la alcantarilla es mayor, a diferencia del flujo tipo 5, a la pendiente que corresponde a la lámina de agua crítica, esta característica en la pendiente hace que la alcantarilla tenga un escurrimiento rápido puesto que su velocidad es buena 1.87 m/s y fuerza atractiva de 2.88 N/m². es posible que se presente una sedimentación moderada, debido al régimen supercrítico y fuerza atractiva menor a 3 N/m². Se recomienda realizar limpieza con agua a presión en el interior de la alcantarilla, los periodos de limpieza deben ser proporcionales a la intensidad de la precipitación.

Debido a que la alcantarilla presenta un régimen supercrítico, es probable la formación de un resalto en su salida. Por lo tanto, se recomienda emplear estructuras de disipación de energía con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de la alcantarilla.

1.16. CONCLUSIONES

El funcionamiento de las alcantarillas es adecuado, al presentarse el caudal máximo de diseño, estas no se van a encontrar ahogadas ni presurizadas y según el manual de drenaje para carreteras de INVIAS, cuando no ocurren estos eventos tenemos

un flujo de condición ideal para las alcantarillas. Por lo tanto, no se recomienda realizar ningún ajuste al diseño original.

Las alcantarillas funcionan con una pendiente suave y por el diámetro de las alcantarillas y el ancho del canal receptor, las alcantarillas tienen un comportamiento similar al de un canal abierto

Las Alcantarillas de Tipo 4 relacionadas en el informe de verificación hidráulica pertenecen al régimen supercrítico y suman un total de 12 unidades, toda vez que la pendiente del flujo es mayor a la pendiente crítica.

Las Alcantarillas de Tipo 5 relacionadas en el informe de verificación hidráulica pertenecen al régimen subcrítico y suman un total de 4 Alcantarillas, toda vez que la pendiente del flujo es menor a la pendiente crítica.

Las alcantarillas 1,7 y 9 tienen una fuerza tractiva mayor a 3 N/m² por ende su evacuación de sedimentos será adecuada.

Las alcantarillas 00,02,03,04,05,06,08,10,11,12,13,14,15 y 16 tienen una fuerza tractiva inferior a 3 N/m² por ende no tienen la capacidad mínima requerida para evacuar sedimentos. Se recomienda en estas alcantarillas un mantenimiento periódico por año para que estos sedimentos no se acumulen causando interferencias significativas con el flujo.

El programa HY8 demuestra el comportamiento hidráulico en las alcantarillas de forma clara y con resultados confiables, es por esto que el instructivo adjunto en este trabajo se realizó de igual forma, con el fin de que tanto estudiantes como profesionales logren aplicarlo en el transcurso de su vida profesional.

1.17. RECOMENDACIONES

Para las alcantarillas pertenecientes al régimen supercrítico (Tipo 4). Por el posible exceso de energía, producen resaltos hidráulicos en su descole. Por lo tanto, se recomienda utilizar disipadores de energía escalonados, en bloques de concreto o baffles y dados de concreto, con el fin de evitar posibles socavaciones en la salida de cada una.

1.18. BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS, INVIAS, BOGOTA: 2008

PEREZ CARMONA RAFAEL, DISEÑO DE INSTALACIONES DE SISTEMAS SANITARIOS, ALCANTARILLADOS Y DRENAJE PARA CARRETERAS, EDICION 2013, BOGOTA, EDITORIAL ECOEDICIONES, 2013, PAGINAS 566.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHTWAY ADMINISTRATION, PENSILVANIA UNIVERSITY, PENSILVANIA: PENSILVANIA UNIVERSITY FECHA 14 DE ABRIL DE 2017 DISPONIBLE EN INTERNET:
<HTTPS://WWW.FHWA.DOT.GOV/ENGINEERING/HYDRAULICS/SOFTWARE/HY8/>.

PAVCO, MANUAL TÉCNICO NOVAFORT NOVALOC, BOGOTA, 2007.

REVISTA VIAL, BOGOTA, 15 ABRIL DE 2017, ARTICULO - CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO PARA EL DRENAJE TRANSVERSAL DE LAS RUTAS NACIONALES, BOGOTA, DISPONIBLE EN INTERNET:
<HTTP://REVISTAVIAL.COM/INDEX.PHP/PUBLICACIONES/2012/REVISTA-85/ITEM/1639-CRITERIOS-Y-PROCEDIMIENTOS-DE-DISENO-PARA-EL-DRENAJE-TRANSVERSAL-DE-LAS-RUTAS-NACIONALES>.

RICHARD UNTERMANN, PRINCIPLES AND PRACTICES OF GRADINS, DRAINAGE, AND ROAD ALIGNMENT: AN ECOLOGIC APPROACH, USA, AÑO 1987 FIRST EDITION.

DIAZ ARIAS JOSE MARTIN, DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE EN CARRETERAS BOGOTA EDITORIAL SAPINO EDICIÓN 2014

SCIELO AUTOR ING GENCEL ZIVKO, PERU LIMA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, 10 DE ABRIL DE 2017, ARTICULO – DISEÑO MEJORADO DE ALCANTARILLAS DE DRENAJE PLUVIAL EN CARRETERAS. DISPONIBLE EN INTERNET:
HTTP://SCIELO.SLD.CU/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S1680-03382013000300007

ING ROSALES DAX, OBRAS DE DRENAJE EN CARRETERAS (ALCANTARILLAS Y BÓVEDAS), SBI INTERNATIONAL HOLDINGS AG GUATEMALA & LATIONAMERICA, ABRIL, 2010 VOLUMEN 10.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS, INVIAS, BOGOTA, 2013.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT OFFICIALS. A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS. WASHINGTON D.C. 2004, HY-8 USER MANUAL (v7.3) HY-8 CULVERT ANALYSIS PROGRAM.

ZAHRA KALANTARI, LIKE TESIS, ADAPTATION OF ROAD DRAINAGE STRUCTURES TO CLIMATE CHANGE, ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY , SWEDEN, AÑO 2011.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION Y GERENCIA, CARRETERAS, ICG, FONDO EDITORIAL, EDICION 7 AÑO 2015.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, PERU LIMA, EDITORIAL MACRO, EDICIÓN 1, AÑO 2008.

L. DAVID SUITS, TESTING AND PERFORMANCE OF GEOSYNTHETICS IN SUBSURFACE DRAINAGE, USA, L. DAVID SUITS, JOHN S. BALDWIN, JAMES B. GODDARD EDITOR, AÑO 2000

MARIE VENNEN AND MARC LEISERING, DAN PANKANI, ERIC ETRECKER, IDENTIFICATION OF RESEARCH NEEDS RELATED TO HIGHWAY RUNOFF MANAGEMENT, AS ARTICLE, WASHINGTON D.C, AÑO 2004.

LAURA DULCE ROMERO, BOGOTA D.C, PRIMER TRAMO DE LA RUTA DEL SOL EN VEREMOS, 2014 , PERIODICO EL TIEMPO

MONTEJO FONSECA ALFONSO, INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. BOGOTA, EDITORIAL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, EDICIÓN 3.

UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA, CARTILLA DE DRENAJE VIAL CONCEPTOS BÁSICOS EN GEOMETRÍA VIAL, EDICIÓN 1, AÑO 2012.

EMPROSIV LTDA, ESTUDIOS Y DISEÑOS DE PAVIMENTOS VÍAS DE LOS SECTORES T Y U DEL CONJUNTO RECREACIONAL CAMPESTRE MESA DE YEGUAS, 2014 , BOGOTA.

WATMOVE TEAM, WATER IN ROAD STRUCTURES, REIDO UNIDO, ANDREW DAWSON EDITOR, AÑO 2008.

1.19. RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo A – Cronograma de Actividades – Diagrama de Gantt Formato Project.

Anexo B – Instructivo de Manejo Programa HY-8.

Anexo C - Resultados Arrojadados por el Programa HY-8 y Archivo con instalador del Programa.