

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA
TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA Y LA TUBERÍA EN CONCRETO
REFORZADO UTILIZADAS PARA DRENAJE VIAL**



DIANA MARCELA FUENTES HAMBURGER

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2017

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA
TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA Y LA TUBERÍA EN CONCRETO
REFORZADO UTILIZADAS PARA DRENAJE VIAL**



DIANA MARCELA FUENTES HAMBURGER

ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO

TUTOR: ING. JULIO CUESTA OLAVE

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2017

INTRODUCCION

En el momento de elegir una tubería para la construcción del drenaje vial se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Dimensiones: Depende del diseño hidráulico.
- Resistencia: Según las cargas que va a soportar.
- Economía.
- Resistencia al desgaste y durabilidad.

En el presente trabajo se desarrolla el diseño hidráulico de una alcantarilla utilizada en el drenaje vial para dos diferentes materiales el metal corrugado y el concreto reforzado, para los diámetros de 900, 1000 y 1200 milímetros. Con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos en hidráulica y drenaje vial. Además, se realiza un proceso investigativo y se desarrolla un análisis comparativo del funcionamiento hidráulico de estos dos tipos de materiales. Conjuntamente se encuentra la recopilación de la información necesaria para abordar los cálculos hidráulicos de la tubería metálica, que no es usualmente utilizada en el drenaje vial del país.

Se realiza también una hoja de cálculo, en la cual se encuentran cada una de las variables y ecuaciones con control a la salida que permite la utilización del coeficiente de rugosidad de Manning, siendo este el factor comparativo esencial en el comportamiento de cada tipo de tubería, de la misma forma se establece la carga de entrada, la cual es el indicador decisivo en la aplicación o no de la tubería en análisis; esto debido a que una carga de entrada alta puede afectar la seguridad y la integridad de la vía, por esto se busca que su valor este dentro de los límites permitidos. Para realizar estos cálculos se escogen diferentes caudales, con lo que se verifica la sección de control, los parámetros críticos, las pendientes, las velocidades y las pérdidas, realizando un análisis de la situación que resulte.

Así mismo para el proceso de cómputo se aplica el software HY-8, con este programa se verifican los resultados obtenidos y se hace uso de sus esquemas, escogiendo diferentes configuraciones de caudal y de pendientes para cada tipo de tubería y se analizan los resultados.

TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCION.....</u>	<u>3</u>
<u>TABLA DE ILUSTRACIONES.....</u>	<u>6</u>
<u>TABLAS.....</u>	<u>8</u>
<u>ECUACIONES.....</u>	<u>9</u>
<u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</u>	<u>10</u>
<u>OBJETIVOS.....</u>	<u>11</u>
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
<u>JUSTIFICACION.....</u>	<u>12</u>
<u>ANTECEDENTES.....</u>	<u>13</u>
<u>MARCO CONCEPTUAL.....</u>	<u>15</u>
TIPOS DE FLUJO	16
FLUJO CON CONTROL A LA ENTRADA	17
FLUJO CON CONTROL A LA SALIDA	18
CAUDAL DE DISEÑO	18
SOFTWARE HY8	19
<u>MARCO LEGAL.....</u>	<u>20</u>
<u>ALCANTARILLAS.....</u>	<u>21</u>
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA	21
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TUBERÍA EN CONCRETO REFORZADO	24

<u>METODOLOGIA.....</u>	<u>25</u>
<i>HIDRAULICA DE ALCANTARILLAS</i>	25
<u>ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA Y LA TUBERÍA EN CONCRETO REFORZADO.....</u>	<u>34</u>
<u>COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA VERSUS LA TUBERÍA EN CONCRETO REFORZADO.....</u>	<u>40</u>
<i>APLICACIÓN DEL SOFTWARE HY-8</i>	40
<u>RESULTADOS.....</u>	<u>43</u>
<i>DIÁMETRO 900 MILÍMETROS</i>	43
<i>DIÁMETRO 1000 MILÍMETROS</i>	45
<i>DIÁMETRO 1200 MILÍMETROS</i>	47
<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>52</u>
<i>RECOMENDACIONES DE DISEÑO</i>	55
<i>RECOMENDACIONES PARA FUTUROS DESARROLLOS</i>	55
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>56</u>

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Control a la salida. Tomado de HY-8</i>	18
<i>Ilustración 2 Icono HY-8.</i>	19
<i>Ilustración 3 Herramientas de HY-8</i>	19
<i>Ilustración 4 Section Desing Corrugated CSP 68x13</i>	22
<i>Ilustración 5 Section Desing Corrugated CSP 76x25</i>	22
<i>Ilustración 6 Section Desing Corrugated CSP 125x25</i>	22
<i>Ilustración 7 Inspecting corrugated steel pipe for sale. www.ail.ca</i>	23
<i>Ilustración 8 Tubería metálica corrugada colocada. www.ail.ca</i>	23
<i>Ilustración 9 Tubos en concreto reforzado. www.titancemento.com</i>	24
<i>Ilustración 10 Tubería en concreto reforzado colocada. http://www.abtc.com.br</i>	24
<i>Ilustración 11 Sección transversal circular</i>	25
<i>Ilustración 12 Diagrama de flujo. Procedimiento para encontrar la profundidad hidráulica.</i>	29
<i>Ilustración 13 Resultados obtenidos en el proceso de cálculo para profundidad hidráulica crítica</i>	32
<i>Ilustración 14 Resultados obtenidos en el proceso de cálculo para profundidad hidráulica</i>	32
<i>Ilustración 15 Verificación de régimen subcrítico.</i>	32
<i>Ilustración 16 Ejemplo de los resultados obtenidos en el cálculo de la carga hidráulica H_w.</i>	33
<i>Ilustración 17 Aplicación de H-CANALES Parámetros hidráulicos.</i>	33
<i>Ilustración 18 Aplicación de H-CANALES Parámetros hidráulicos críticos</i>	33
<i>Ilustración 19 Caudal vs Pendiente. Concreto Reforzado</i>	34
<i>Ilustración 20 Caudal vs Pendiente. Metal Corrugado</i>	35
<i>Ilustración 21 Caudal vs Pendiente para los dos materiales</i>	35

<i>Ilustración 22 Caudal vs Hf. Concreto Reforzado</i>	-----36
<i>Ilustración 23 Caudal vs Hf. Metal Corrugado</i>	-----37
<i>Ilustración 24 Caudal vs Carga a la entrada. Concreto Reforzado</i>	-----38
<i>Ilustración 25 Caudal vs Carga a la entrada. Metal Corrugado</i>	-----38
<i>Ilustración 26 Diámetro de 900 mm. Caudal vs Carga de entrada</i>	-----39
<i>Ilustración 27 Pantalla de entrada en HY-8</i>	-----40
<i>Ilustración 28 Hw and Tw. HY-8</i>	-----41
<i>Ilustración 29 Roadway data. HY-8</i>	-----41
<i>Ilustración 30 Invert Elevation. HY-8</i>	-----42
<i>Ilustración 31 Site data. HY-8</i>	-----42
<i>Ilustración 32 Desing Culvert. Metal corrugado 900 mm</i>	-----44
<i>Ilustración 33 Desing Culvert. Concreto Reforzado 900 mm</i>	-----44
<i>Ilustración 34 Esfuerzo cortante. Diámetro 900 mm</i>	-----45
<i>Ilustración 35 Desing Culvert. Metal corrugado 1000 mm</i>	-----46
<i>Ilustración 36 Desing Culvert. Concreto Reforzado 1000 mm</i>	-----46
<i>Ilustración 37 Esfuerzo cortante. Diámetro 1000 mm</i>	-----47
<i>Ilustración 38 Esfuerzo cortante. Diámetro 1200 mm</i>	-----48
<i>Ilustración 39 Desing Culvert. Metal corrugado 1200 mm</i>	-----48
<i>Ilustración 40 Desing Culvert. Concreto Reforzado 1200 mm</i>	-----49

TABLAS

<i>Tabla 1 Coeficiente de Manning.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3 Capacidad de la tubería según su diámetro.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4 Resultado de hoja de cálculo y HY-8. Diámetro de 900 mm.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5 Resultado de hoja de cálculo y HY-8. Diámetro de 1000 mm.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6 Resultado de hoja de cálculo y HY-8. Diámetro de 1200 mm.....</i>	<i>47</i>

ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Ángulo entre el centro de la sección y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería (radianes).</i>	25
<i>Ecuación 2 Área mojada transversal (m²).</i>	25
<i>Ecuación 3 Ancho de la sección del canal en la superficie libre (m).</i>	26
<i>Ecuación 4 Radio hidráulico (m).</i>	26
<i>Ecuación 5 Despeje de la ecuación de Froude en régimen crítico.</i>	26
<i>Ecuación 6 SOLVER, determina la profundidad hidráulica.</i>	27
<i>Ecuación 7 Manning</i>	27
<i>Ecuación 8 Pendiente longitudinal crítica de la tubería, con ecuación de Manning</i>	27
<i>Ecuación 9 SOLVER, determina la profundidad hidráulica crítica.</i>	28
<i>Ecuación 10 Carga Hidráulica (m)</i>	30
<i>Ecuación 11 Profundidad del agua en la salida (m)</i>	30
<i>Ecuación 12 Pérdida por fricción (m)</i>	30
<i>Ecuación 13 Pérdida a la salida (m).</i>	31
<i>Ecuación 14 Perdidas por forma y geometría de la alcantarilla (m).</i>	31

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las obras de drenaje vial en el país son tradicionalmente construidas con tubería en concreto reforzado, principalmente por la resistencia y el buen funcionamiento hidráulico que presenta, sin embargo, la tubería metálica corrugada es una alternativa, tecnología y eficiente; que se utiliza en la mayoría de proyectos de drenaje en países como Canadá y Estados Unidos¹. Esto gracias al peso liviano de este tipo de tubería que eventualmente permite un fácil transporte, manejo y además una rápida colocación, disminuyendo los periodos de construcción de las obras de drenaje y los costos. A pesar de estos beneficios en Colombia la aplicación de este tipo de tuberías es escasa y limitada.

Frente a esta problemática es necesario un estudio comparativo del funcionamiento hidráulico de estas tuberías, para determinar si la tubería metálica corrugada presenta un comportamiento similar o en qué aspectos se diferencian y si su aplicación es eficiente en las obras de drenaje vial del país.

¹ Tomado del manual: Steel & Drainage Highway Construction.
Canada Edition. CORRUGATED STEEL PIPEINSTITUTE. Página 6

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar el funcionamiento hidráulico de la tubería metálica corrugada y la tubería en concreto reforzado, para su aplicación en el drenaje vial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Investigar las diferentes normativas y manuales para conocer el comportamiento hidráulico de la tubería metálica corrugada y la tubería en concreto reforzado.
- Determinar las características hidráulicas de cada tipo de tubería, para los diámetros 900, 1.000 y 1.200 milímetros.
- Realizar una hoja de cálculo que permita verificar el comportamiento hidráulico de cada tipo de tubería.
- Efectuar el análisis para los dos tipos de materiales, planteando un mismo escenario, es decir, un mismo caudal, pendiente y altura a la salida.
- Utilizar el software HY-8 para comparar los cálculos hidráulicos de las alcantarillas planteadas, además poder visualizar el comportamiento del flujo en la tubería.

JUSTIFICACION

“Colombia ocupa el cuarto lugar en el mundo en cuanto a disponibilidad de agua después de Rusia, Canadá y Brasil. Esta condición implica que las carreteras se encuentren sometidas de manera frecuente a la acción del agua lluvia y que deban atravesar o bordear numerosos cursos de agua” (INVIAS, 2009). La importancia de un eficiente drenaje vial es vital para conservar las condiciones de servicio de la vía. En el país las obras de drenaje en las carreteras son en su mayoría diseñadas y construidas con tubería en concreto reforzado y en algunos casos en PVC, debido a que estos materiales presentan buen funcionamiento hidráulico y mecánico, adicionalmente por la falta de conocimiento y de estudios técnicos sobre el comportamiento de otros materiales utilizados para la fabricación de tuberías.

En el presente trabajo se realiza la comparación del comportamiento hidráulico de una nueva alternativa, tecnología y eficiente, la tubería metálica corrugada. Por su buen desempeño es muy utilizada en países desarrollados (Steel & Drainage Highway Construction, 2007). Dentro de sus principales características se encuentran el peso liviano y alta resistencia, lo que genera grandes beneficios como fácil transporte y manejo, además de una rápida colocación, disminuyendo los periodos de construcción y la mano de obra utilizada, lo cual se traduce en una reducción de costos.

Esta comparación ayudara a determinar las diferencias y similitudes del comportamiento hidráulico de estos dos tipos de tubería, para poder concluir si su implementación es eficiente y en qué medida la tubería metálica corrugada puede remplazar a la tubería en concreto reforzado.

ANTECEDENTES

Las placas de acero corrugado fueron construidas por primera vez en Inglaterra en el año de 1784, seguidamente para la época de 1800 las tuberías en concreto reforzado fueron fabricadas debido a la necesidad de transportar agua con residuos sólidos. “En el inicio de la década de 1840, se implementó el primer colector en concreto reforzado en Hamburgo, Alemania. Posteriormente en los primeros años del siglo XX la ASTM (American Society for Testing and Materials) realizó los primeros estudios mecánicos y normativos de la tubería en concreto reforzado” (TUBOS DE CONCRETO, BRASIL, 2017). Debido a la antigüedad del material, sus propiedades mecánicas, los estudios realizados y su fácil fabricación, se empezó a implementar de manera masiva para la conducción de agua a nivel mundial.

En 1896 se desarrolló la primera alcantarilla en acero corrugado, al obtener buenos resultados, al ser delgada y liviana, por esta razón se comenzaron a producir diámetros cada vez más grandes. Posteriormente para el año de 1931 fueron aplicadas corrugaciones más grandes y más resistentes ensambladas en campo; pero solo hasta 1950 se introdujo al mercado colombiano la tubería metálica, siendo COLMENA y ARMCO los pioneros en la fabricación y comercialización de estos productos, los cuales estaban destinados a la conducción de agua y gas. Posteriormente en el año 1961, ARMCO pasó a ser CORPACERO con la primera línea de galvanización de lámina lisa. (CORPACERO, 2017).

Actualmente las empresas que lideran el mercado colombiano en tuberías en concreto son:

- TITAN, con “78 años de experiencia en la fabricación de Tubería, Box Culvert, Dovelas para túneles, Pozos de Inspección, Sumideros, Canales”². Además, cuenta con plantas en Cota, Medellín y Barranquilla. Ver: (Ilustración 9 Tubos en concreto reforzado. www.titancemento.com)

² TITAN. (s.f.). *TITAN ALCANTARILLADO*. BOGOTÁ. Tomado de: <http://www.titancemento.com/>

- CONCISA Concretos e Ingeniería, con 30 años de experiencia en la fabricación de tuberías (CONCISA, 2017), Yees de concreto simple, Cámaras de inspección y tapas para alcantarillado. Las plantas están ubicadas en la ciudad de Risaralda y en Santa Marta.³

En cuanto a tubería metálica corrugada, CORPACERO es líder en el mercado con 56 años de experiencia en la fabricación de láminas galvanizadas, cubiertas metálicas, tuberías, perfiles y túneles liners. Las plantas de producción se encuentran ubicadas en Barranquilla y Bogotá⁴.

³ CONCISA (02 DE 08 DE 2017) *CONCRETOS E INGENIEROS S.A.S* <http://www.concisa.com.co/>

⁴ CORPACERO. (02 de 08 de 2017). *CORPACERO. Brindamos Soluciones en Acero*. Obtenido de <http://www.corpacero.com>

MARCO CONCEPTUAL

Los sistemas de drenaje están constituidos por diferentes obras que tienen como objetivo captar, transportar y entregar de manera adecuada el agua que se encuentra sobre o bajo superficie, que en alguna forma afectan el normal desempeño de la vía y la integridad de la estructura. Entre estas obras encontramos las alcantarillas, las cuales son diseñadas y construidas tradicionalmente con tubería, ya sea rígida o flexible.

La tubería rígida es aquella cuyos materiales derivan una parte substancial de su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la resistencia estructural del elemento asociada a la rigidez misma de la pared de la tubería. Mientras que la tubería flexible es aquella cuyos materiales derivan su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la interacción de la tubería flexible y del suelo circundante, el cual trabaja por la deflexión de la tubería hasta el punto de equilibrio bajo carga. (RAS TITULO D, 2016).

La tubería metálica corrugada es fabricada en acero corrugado en diferentes espesores de pared. Está disponible en corrugado helicoidal. Son ideales para excavaciones en zanjas, para la construcción de drenajes transversales y para acueductos y alcantarillados, además, pasos a desnivel y túneles falsos. (CONTECH, 2012). Estos tubos deben cumplir con un mínimo de revestimiento galvanizado para garantizar su integridad ya que son susceptibles a la corrosión. Este revestimiento está conformado por zinc el cual genera una acción galvánica que protege el acero base y alarga la vida útil del tubo. En Colombia las consideraciones que deben cumplir las tuberías metálicas corrugadas están estipuladas en las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS.⁵

Por otra parte, las tuberías de concreto reforzado están conformados por tubos de concreto hidráulico reforzados con varillas de acero. “Esta tubería es utilizada para la conducción de aguas lluvias y negras, residuos líquidos industriales, drenajes en

⁵ Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 6: Estructuras y drenajes. Artículo 662: Tubería Metálica Corrugada. Tomado del portal: www.invias.gov.co. (2013).

vías y, en general, en conductos no sometidos a presión hidrostática”. (TITAN, 2016).

El diámetro que se utiliza en el momento de realizar el diseño hidráulico de una alcantarilla es el diámetro real interno, no obstante, el diámetro utilizado como especificación comercial en las tuberías y que no coincide necesariamente con el diámetro interno real de estas, es en nominal.

Las estructuras hidráulicas de drenaje vial funcionan a superficie libre o canal abierto, sujeto a la presión atmosférica. Dependiendo de la variación de la profundidad, la velocidad del flujo a lo largo del canal y el tiempo se clasifican diferentes tipos de flujo, especificados como uniformes, no uniformes o variados, permanentes y no permanentes o combinaciones de los anteriores, lo cual resulta conveniente para aplicaciones prácticas.

TIPOS DE FLUJO

- “Flujo permanente: Tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.
- Flujo no permanente: Tiempo como criterio. El flujo es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo.
- Flujo uniforme: Espacio como criterio. Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad de flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente con respecto al tiempo.
- Flujo uniforme permanente: Es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia con el intervalo de tiempo bajo consideración.
- Flujo uniforme no permanente: Requerirá que la superficie del agua fluctuará de un tiempo a otro, pero permaneciendo paralela al fondo del canal. En efecto esta es una condición prácticamente imposible.

- Flujo variado: El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal.
- Flujo rápidamente variado: Si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas.
- Flujo gradualmente variado: La tasa de variación de la profundidad del flujo con la distancia es pequeña, por lo que la curvatura de las líneas de corriente es despreciable y la distribución de presión es hidrostática.
- Flujo crítico: Se dice que el flujo está en estado crítico si Froude es igual a la unidad.
- Flujo Subcrítico: Si Froude es menor que la unidad, en este estado el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por tanto, el flujo tiene una velocidad baja y a menudo se describe como corriente tranquila y lenta.
- Flujo Supercrítico: Si Froude es mayor que la unidad, en este estado las fuerzas inerciales vuelven a ser dominantes; el flujo tiene una alta velocidad y se describe usualmente como rápido, ultrarrápido y torrencial”⁶.

Para comenzar el diseño hidráulico de una alcantarilla es necesario no solo conocer el tipo de flujo que se presenta si no establecer la sección de control donde se presenta una relación definida y única entre el caudal y la profundidad del agua. Esta puede darse en la entrada o en la salida del conducto.

FLUJO CON CONTROL A LA ENTRADA

En esta condición, el flujo sufre una contracción severa en la entrada, por lo que la capacidad de la tubería es mayor que la capacidad de la estructura de entrada, siendo las características de la entrada (tipo y forma) y no las de la tubería (sección, rugosidad, área, longitud, pendiente) las que determinan la capacidad de la alcantarilla.

⁶ INVIAS. *MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS*. Capítulo 4. Drenaje Superficial. 4.1 Tipos de flujo. Pag 4-1 a 4-5

FLUJO CON CONTROL A LA SALIDA

Para esta condición, la capacidad de la tubería es inferior a la de la estructura de entrada, por lo que las características del conducto (sección, rugosidad, área, longitud, pendiente) determinan la capacidad de la alcantarilla. (MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS INVIAS, 2009).

En esta medida es necesario realizar la sección del control en la salida para que así tenga incidencia el material de la tubería y a su vez el valor del n de Manning.

El diseño de la alcantarilla consiste además en determinar el diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima a la entrada (H_w). La carga a la entrada corresponde a la profundidad del agua, medida desde la batea, aguas arriba de la alcantarilla.

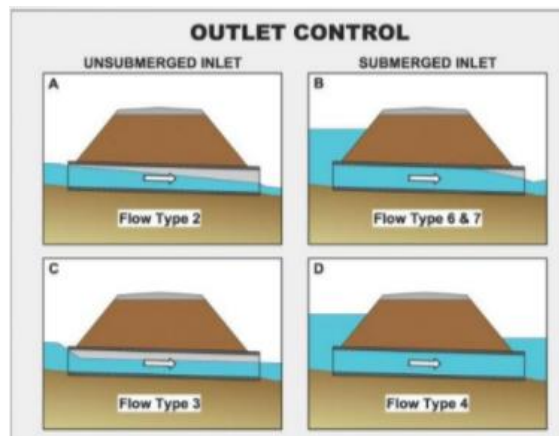


Ilustración 1 Control a la salida. Tomado de HY-8

CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño de la alcantarilla es el caudal que debe transportar la estructura. Así, cuando la alcantarilla se requiere en el cruce de una quebrada, el caudal de diseño se obtendrá aplicando las diferentes metodologías. En el caso de alcantarillas que reciben de cunetas, subdrenajes o bajantes, el caudal de diseño corresponde a los caudales captados por las estructuras aferentes. Cuando se proyecta una batería de conductos iguales (igual diámetro, cota y pendiente), se puede asumir que el flujo o caudal se repartirá uniformemente entre las tuberías.

SOFTWARE HY8

Es un programa de Análisis Hidráulico. HY-8 automatiza los cálculos hidráulicos de las alcantarillas utilizando una serie de características esenciales que facilitan el análisis y el diseño de las alcantarillas. (Department of Transportation. Federal Highway Administration , 2017). Ayuda en el análisis y el diseño de alcantarillas. Se compone de cuatro módulos: uno de análisis de alcantarillas; dos módulos de generación y tránsito de hidrogramas y un cuarto módulo para el diseño de estructuras de disipación de energía.⁷ (Ilustración 27 Pantalla de entrada en HY-8.)

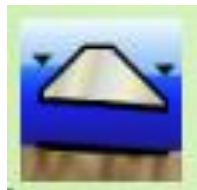


Ilustración 2 Icono HY-8.

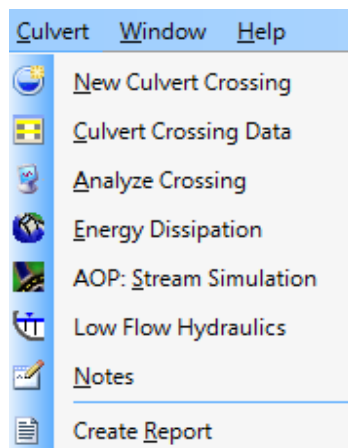


Ilustración 3 Herramientas de HY-8

⁷ U.S Department of Transportation. Federal Highway Administration. Tomado de: www.fhwa.dot.gov. (2017)

MARCO LEGAL

- Norma Técnica Colombiana NTC 5138. Alcantarillas metálicas Galvanizadas fabricadas con lámina corrugada de acero.
- Norma Técnica Colombiana NTC 401. Tubos de concreto reforzado para alcantarillado.
- Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 6: Estructuras y drenajes. Artículos: 661 “Tubería en concreto reforzado”. 662 tubería metálica corrugada.
- Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Título A Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico.
- Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2016. Título D Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.
- Manual de drenaje para carreteras, 2009 INVIAS. Este Manual ha sido concebido como una guía para uso en el análisis hidrológico de las cuencas y áreas aferentes al corredor vial y en el diseño hidráulico de las estructuras componentes del sistema de drenaje superficial y subsuperficial. Su intención es suministrar una base para uniformizar la práctica de diseño para el drenaje típico de las carreteras nacionales.

ALCANTARILLAS

Una alcantarilla es un conducto corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Incluye, conductos con cualquier sección geométrica: circulares y alcantarillas de cajón principalmente.

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) atendiendo también criterios de arrastre de sedimentos ($\tau \geq 3 \frac{N}{m^2}$) y de facilidad de mantenimiento. Las alcantarillas están compuestas por las estructuras de entrada y salida, el conducto o tubería y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente.

Las alcantarillas deben ser diseñadas con un nivel de agua a la entrada inferior a 1.20 veces la altura de la alcantarilla, pues se debe evitar el contacto de la estructura de pavimento con el agua.⁸

La pendiente hidráulica de las alcantarillas se debe encontrar, en lo posible, entre 0.5% y 5%, pudiendo alcanzar valores tales que no produzcan velocidades superiores a la admisible 0,6 – 6 m/s.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA

Las tuberías metálicas corrugadas son principalmente utilizadas en el drenaje transversal de carreteras, ferrovías y aeropuertos, pasos a desnivel y túneles falsos; así como alcantarillas para aguas lluvias en aplicaciones urbanas. Son durables y de bajo peso, fáciles de manejar, transportar e instalar, no genera desperdicios y presenta un económico mantenimiento. Además, su excelente resistencia estructural la convierte en una solución ideal a problemas de drenaje. Se fabrica en Colombia de acuerdo con las Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 6: Estructuras y drenajes. Artículo 662: Tubería Metálica Corrugada.

⁸ INVIAS. *MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS*. Capítulo 4. Drenaje Superficial. 4.4 Alcantarillas. Pag 4-33.

Los diámetros de las tuberías metálicas corrugadas van desde los 300 hasta los 3600 milímetros, las corrugaciones comerciales en Colombia son 68x13, 76x25 y 125x25, los cuales están representados así:

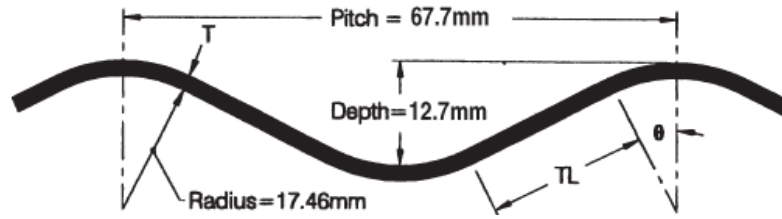


Ilustración 4 Section Desing Corrugated CSP 68x13

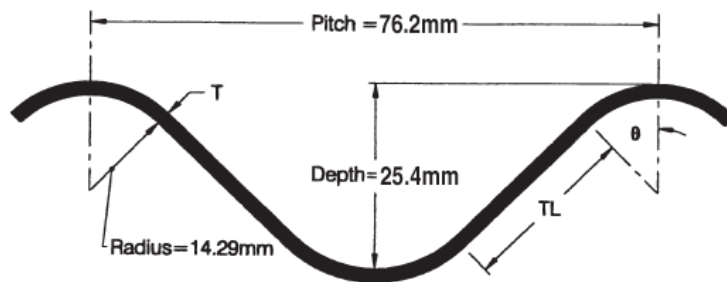


Ilustración 5 Section Desing Corrugated CSP 76x25

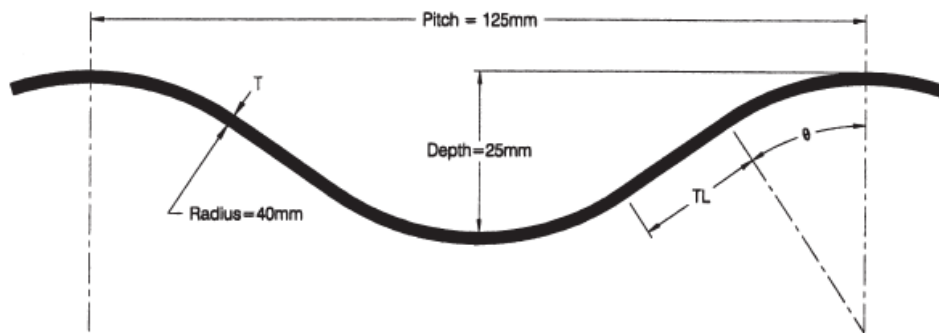


Ilustración 6 Section Desing Corrugated CSP 125x25



Ilustración 7 Inspecting corrugated steel pipe for sale. www.aill.ca

El coeficiente de Manning varía para los diferentes diámetros, como se muestra en la (Tabla 1 Coeficiente de Manning)

Diámetro (mm)	Diámetro interno (mm)	Coeficiente de Manning (Steel & Drainage Highway Construction, 2007)
900	874	0.018
1000	974	0.019
1200	1174	0.020

Tabla 1 Coeficiente de Manning



Ilustración 8 Tubería metálica corrugada colocada. www.aill.ca

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TUBERÍA EN CONCRETO REFORZADO

Este tipo de tubería es utilizada para conducción de aguas lluvia y negras, fabricadas en diámetros desde 60 cm hasta 275 centímetros, se clasifican según su resistencia a la fisura y rotura en cinco clases. Se produce en Colombia de acuerdo con la NTC 401. Para todos los diámetros el coeficiente de n de Manning es 0.010.



Ilustración 9 Tubos en concreto reforzado. www.titancemento.com



Ilustración 10 Tubería en concreto reforzado colocada. <http://www.abtc.com.br>

METODOLOGIA

HIDRAULICA DE ALCANTARILLAS

Los sistemas de alcantarillado están conformados principalmente por tuberías de sección circular en las cuales el flujo no ocupa la totalidad de la sección transversal. Es necesario conocer las propiedades geométricas de la sección circular fluyendo parcialmente llenas, las cuales son necesarias para encontrar el tirante crítico según el caudal asignado.

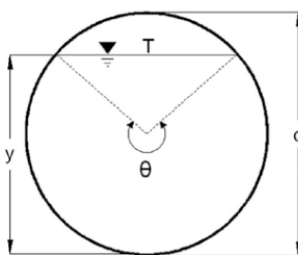


Ilustración 11 Sección trasversal circular

El ángulo subtendido desde el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería está dado por la ecuación.

$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2y}{d}\right) \quad [1]$$

Ecuación 1 Ángulo entre el centro de la sección y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería (radianes).

Donde:

θ = Ángulo subtendido entre el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería (radianes).

y = Profundidad del agua (m).

d = Diámetro real interno de la tubería (m).

Teniendo en cuenta el ángulo antes descrito y el diámetro real interno de la tubería, el área mojada de la sección transversal se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$A_m = \frac{d^2}{8}(\theta - \text{sen}\theta) \quad [2]$$

Ecuación 2 Área mojada transversal (m²).

Donde:

A_m = Área mojada transversal (m^2).

d = Diámetro real interno de la tubería (m)

θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (radianes).

El ancho en la superficie o espejo de agua se calcula de la siguiente forma:

$$T = d \operatorname{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad [3]$$

Ecuación 3 Ancho de la sección del canal en la superficie libre (m).

Donde:

T = Ancho de la sección del canal en la superficie libre (m).

d = Diámetro real interno de la tubería (m).

θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (radianes).

El radio hidráulico está dado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{\operatorname{sen} \theta}{\theta} \right) \quad [4]$$

Ecuación 4 Radio hidráulico (m).

Donde:

R = Radio hidráulico (m).

d = Diámetro real interno de la tubería (m).

θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (radianes).

Para realizar el diseño de la hoja de cálculo, es necesario calcular los parámetros críticos y los parámetros normales del flujo. Entonces en la primera parte, para determinar el tirante crítico se utiliza la ecuación de Froude, trabajando en régimen crítico. Reemplazando, además, la velocidad y la profundidad hidráulica.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}} \rightarrow \frac{Q}{Am \sqrt{g \frac{Am}{T}}} = 1 \quad [5]$$

Ecuación 5 Despeje de la ecuación de Froude en régimen crítico.

Donde:

v = Velocidad (m/s).

D = Profundidad hidráulica (m).

Q = Caudal (m^3/s).

Am = Área mojada (m^2).

T = Ancho de la sección del canal en la superficie libre (m).

De esta manera se obtiene la siguiente ecuación y se procede a programar en la hoja de cálculo por medio de un solver y así obtener la profundidad crítica.

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Am^3}{T} \quad [6]$$

Ecuación 6 SOLVER, determina la profundidad hidráulica.

En la segunda parte es necesario hallar la pendiente crítica y satisfacer las condiciones del perfil M de flujo subcrítico, es decir, la capacidad de la tubería es inferior a la de la estructura de entrada, lo que permite que las características del conducto sección, rugosidad, área, longitud y pendiente determinen la capacidad de la alcantarilla.

Para esto se utiliza la ecuación de Manning, la cual relaciona el caudal que pasa por la tubería como función del área mojada, del radio hidráulico, de la pendiente de la tubería y del coeficiente de rugosidad de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AmR^{2/3} S_c^{1/2} \quad [7]$$

Ecuación 7 Manning

$$S_c = \left(\frac{Qn}{AmR^{2/3}} \right)^2 \quad [8]$$

Ecuación 8 Pendiente longitudinal crítica de la tubería, con ecuación de Manning

$$S_o < S_c \rightarrow \text{Flujo tipo M}$$

Donde:

S_c = Pendiente longitudinal crítica de la tubería (m/m).

S_o = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).

Q = Caudal (m^3/s).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning ($s/m^{1/3}$).

Am = Área mojada (m^2).

R = Radio hidráulico (m).

Para esta segunda parte también es necesario determinar el ángulo, el área mojada, el radio hidráulico y el espejo de agua, esta vez en condiciones normales, para lo cual se utilizan las mismas ecuaciones. A continuación, se programa en la hoja de cálculo la ecuación de Manning por medio de un solver para obtener la profundidad normal.

$$\frac{Qn}{S_o^{1/2}} = Am R h^{2/3} \quad [9]$$

Ecuación 9 SOLVER, determina la profundidad hidráulica crítica.

En el siguiente diagrama de flujo se encuentra de manera clara y resumida los pasos para determinar la profundidad normal y la profundidad crítica, además de establecer el perfil de flujo tipo M. (Ilustración 12 Diagrama de flujo. Procedimiento para encontrar la profundidad hidráulica.)

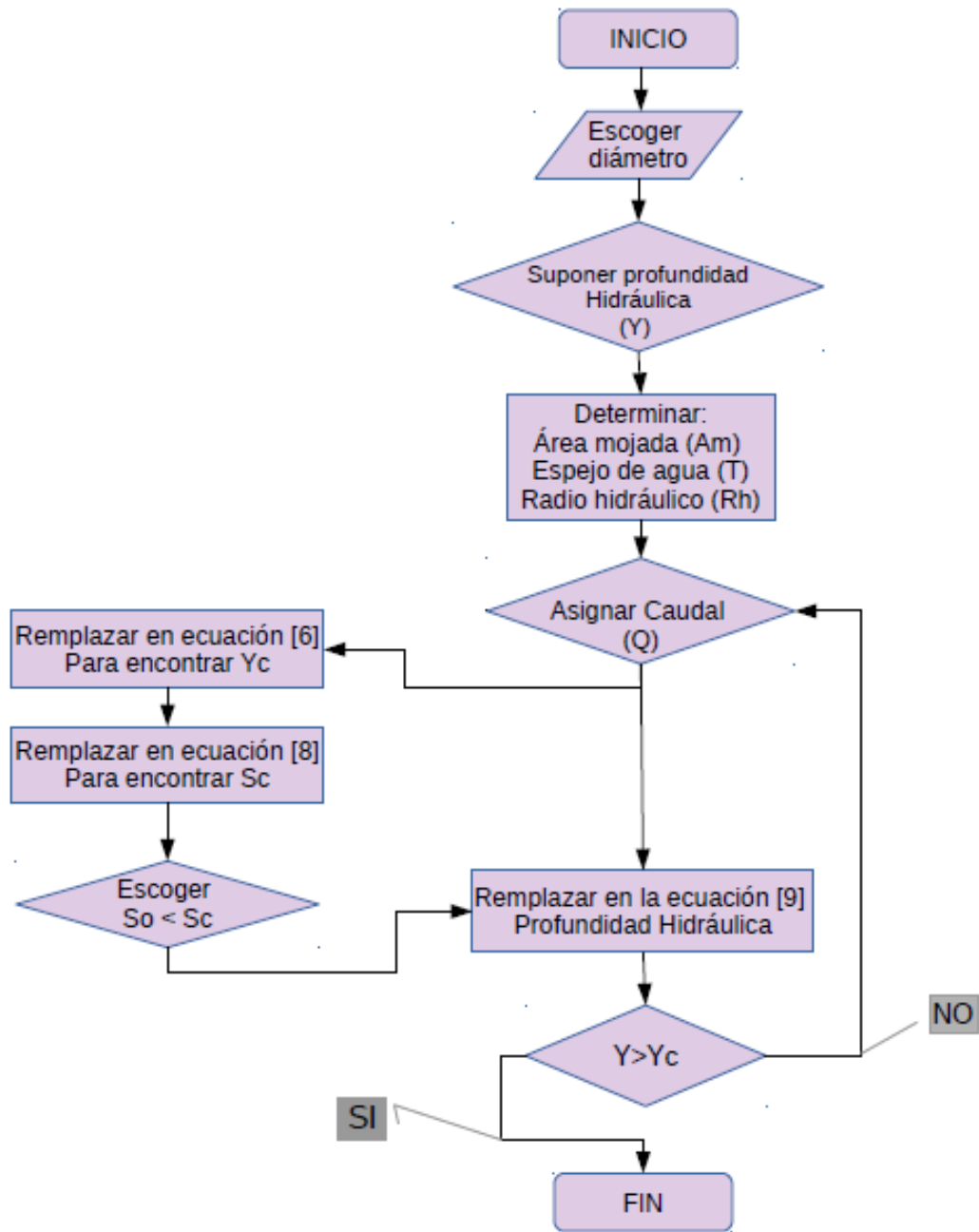


Ilustración 12 Diagrama de flujo. Procedimiento para encontrar la profundidad hidráulica.

Continuando con el proceso de cálculo se determina la carga a la entrada (H_w) asumiendo flujo parcialmente lleno y partiendo de una condición de control.

$$H_w = h_o + H_f + H_e + H_s - L \times S_o \quad [10]$$

Ecuación 10 Carga Hidráulica (m)

Donde:

h_o = Profundidad del agua en la salida con respecto a la cota de batea de la alcantarilla en la salida, en metros (m).

S_o = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).

H_f = Pérdida por fricción o energía requerida para vencer la rugosidad de la alcantarilla, en metros (m).

H_e = Pérdida por forma (m).

H_s = Pérdida a la salida, en metros (m).

L = Longitud de la alcantarilla, en metros (m).

$$h_o = \max \left[T_w, \frac{D + d_c}{2} \right] \quad [11]$$

Ecuación 11 Profundidad del agua en la salida (m)

Donde:

h_o = Profundidad del agua en la salida con respecto a la cota de batea de la alcantarilla en la salida, en metros (m).

T_w = Profundidad del agua en el canal de salida, en metros (m)

D = Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla, en metros (m).

d_c = Profundidad hidráulica crítica, en metros (m).

$$H_f = L \left[\frac{Qn}{Am Rh^{0.67}} \right]^2 \quad [12]$$

Ecuación 12 Pérdida por fricción (m)

Donde:

H_f = Pérdida por fricción o energía requerida para vencer la rugosidad de la alcantarilla, en metros (m).

L = Longitud del tubo (m).

Q = Caudal (m^3/s).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning ($s/m^{1/3}$).

A_m = Área mojada (m^2).

R_h = Radio hidráulico (m).

$$H_s = 1.0 \frac{v^2}{2g} \quad [13]$$

Ecuación 13 Pérdida a la salida (m)

Donde:

H_s = Pérdida a la salida, en metros (m).

v = Velocidad media del flujo en la salida de la alcantarilla, en metros por segundo (m/s).

H_e = Depende de la forma de la alcantarilla y de la geometría de los bordes de la entrada $K_e = (0.9)^9$. Este valor es planteado por el manual de drenaje, se escoge el más desfavorable según el tipo de estructura y características de la entrada.

$$H_e = K_e \frac{v^2}{2g} \quad [14]$$

Ecuación 14 Perdidas por forma y geometría de la alcantarilla (m)

v = Velocidad media del flujo en la salida de la alcantarilla, en metros por segundo (m/s).

Se trabajaron los anteriores cálculos para cada uno de los diámetros de la tubería metálica corrugada y en concreto reforzado, con caudales desde $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ para condiciones de flujo libre y condiciones de sumergencia.

Es necesario aclarar que para poder evidenciar las variaciones que presentan los dos tipos de tubería, se requiere plantear escenarios que difieren de las recomendaciones del manual del drenaje, puntualmente al utilizar pendientes menores a 0.5%.

⁹ INVIAS. *MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS*. Capítulo 4. Drenaje Superficial. Tabla 4.5 Coeficiente de pérdidas a la entrada. Pag 4-48.

Y crítica								
Q	Yc	Θ			Amc	Tc	Rhc	D- Q ² /g
(m ³ /s)	m	(1-2y/d)	Radianes	Grados	m ²	m	m	Solver
0.2	0.26	0.420	2.275	130.331	0.153	0.817	0.150	0.000
0.3	0.32	0.290	2.553	146.299	0.202	0.861	0.176	0.000
0.4	0.37	0.184	2.772	158.802	0.244	0.885	0.196	0.000
0.5	0.41	0.082	2.977	170.567	0.285	0.897	0.213	0.000

Ilustración 13 Resultados obtenidos en el proceso de cálculo para profundidad hidráulica crítica

Y								
Q	Y	Θ			Am	T	Rh	Solver
(m ³ /s)	m	(1-2y/d)	Radianes	Grados	m ²	m	m	
0.2	0.28	0.378	2.366	135.538	0.169	0.833	0.158	0.000
0.3	0.34	0.239	2.659	152.322	0.222	0.874	0.186	0.000
0.4	0.39	0.128	2.885	165.307	0.266	0.893	0.205	0.000
0.5	0.44	0.019	3.104	177.854	0.311	0.900	0.222	0.000

Ilustración 14 Resultados obtenidos en el proceso de cálculo para profundidad hidráulica

Se verifica que $Y_n > Y_c$ con esto se asegura que el régimen trabajado sigue siendo subcrítico y se determina la capacidad máxima de la tubería en este régimen.

Yc	Y	Δ
m	m	(cm)
0,592	0,631	4,0
0,621	0,662	4,1
0,649	0,692	4,3
0,675	0,720	4,5
0,700	0,748	4,8
0,723	0,779	5,7
0,744	0,810	6,6
0,763	0,844	8,1
0,781	0,844	6,3
0,823	0,843	2,0
0,833	0,845	1,2
0,843	0,843	0,000

Ilustración 15 Verificación de régimen subcrítico.


V	Sc	So	S %	Tw	(d+Yc)/2	ho	Hf	He	Hs	Hw	Tw	(d+Yc)/2	ho	Hw
m/s				(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1.19	0.00215	0.00165	0.16	0.2	0.58	0.58	0.01	0.06	0.07	0.72	1.0	0.58	1.00	1.14
1.35	0.00223	0.00173	0.17	0.2	0.61	0.61	0.02	0.08	0.09	0.79	1.0	0.61	1.00	1.18
1.50	0.00237	0.00187	0.19	0.2	0.63	0.63	0.02	0.10	0.11	0.85	1.0	0.63	1.00	1.22
1.61	0.00243	0.00193	0.19	0.2	0.66	0.66	0.02	0.12	0.13	0.91	1.0	0.66	1.00	1.25

Ilustración 16 Ejemplo de los resultados obtenidos en el cálculo de la carga hidráulica Hw.

Los resultados de la profundidad hidráulica, área mojada, espejo de agua, radio hidráulico, velocidad, y tipo de flujo para los parámetros normales y críticos fueron comprobados con ayuda del software H-CANALES versión 3.0¹⁰, este software fue desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ayudando al diseño de canales y estructuras hidráulicas. (H-CANALES 3.0)

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Diámetro (d): m
 Rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



Resultados:

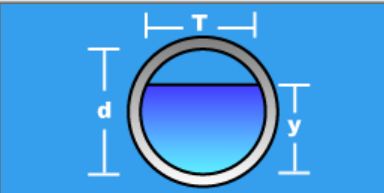
Tirante normal (y): m
 Área hidráulica (A): m²
 Espejo de agua (T): m
 Número de Froude (F):
 Tipo de flujo:

Perímetro mojado (p): m
 Radio hidráulico (R): m
 Velocidad (v): m/s
 Energía específica (E): m-Kg/Kg

Ilustración 17 Aplicación de H-CANALES Parámetros hidráulicos.

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Diámetro (d): m



Resultados:

Tirante crítico (y): m
 Área hidráulica (A): m²
 Espejo de agua (T): m
 Número de Froude (F):

Perímetro mojado (p): m
 Radio hidráulico (R): m
 Velocidad (v): m/s
 Energía específica (E): m-Kg/Kg

Ilustración 18 Aplicación de H-CANALES Parámetros hidráulicos críticos

¹⁰ Tomado de: H-CANALES Versión 3.0. Programación: Máximo Villon Bejar

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA Y LA TUBERÍA EN CONCRETO REFORZADO

1. La capacidad que soporta la tubería permaneciendo en régimen subcrítico según el diámetro se en la Tabla 2 Capacidad de la tubería según su diámetro.

Material	Concreto			Metal		
Diámetro	0.9 m	1 m	1.2 m	0.9 m	1 m	1.2 m
Rango de Caudal m ³ /s	0.2 - 2.3	0.2 - 3.1	0.2 - 5.0	0.2 - 2.2	0.2 - 2.9	0.2 - 4.7

Tabla 2 Capacidad de la tubería según su diámetro

El régimen permanece subcrítico ($Y_n > Y_c$) cuando la tubería en concreto llega al 94% de su capacidad. Para la tubería metálica el régimen cambia cuando esta llega al 91% de su capacidad.

2. Al aumentar el diámetro la capacidad de cada tubería aumenta, sin embargo, para las tuberías en concreto reforzado la pendiente máxima (en régimen subcrítico) se mantiene en un rango de 0.8% en los diferentes diámetros, de este modo la tubería 900 mm llega a su punto máximo más rápidamente, enseguida la de 1.000 mm y finalmente 1.200 mm

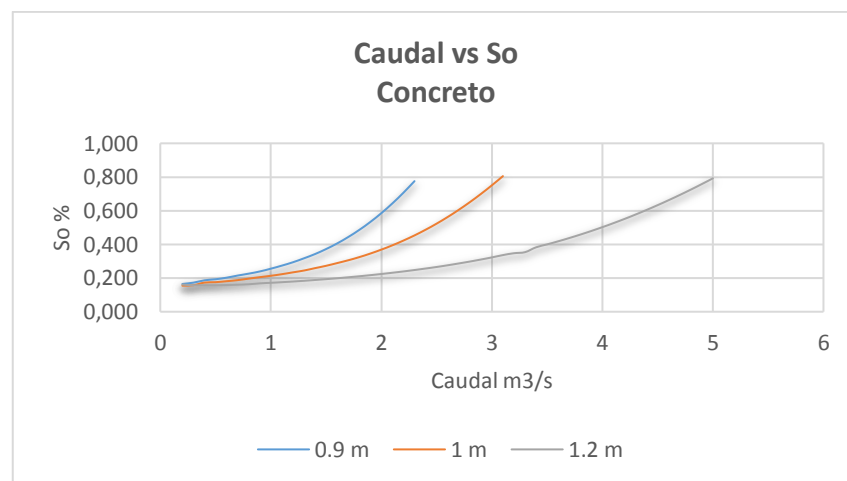


Ilustración 19 Caudal vs Pendiente. Concreto Reforzado

Para las tuberías metálicas corrugadas las pendientes máximas (en régimen subcrítico) ascienden a más de 2.8%.

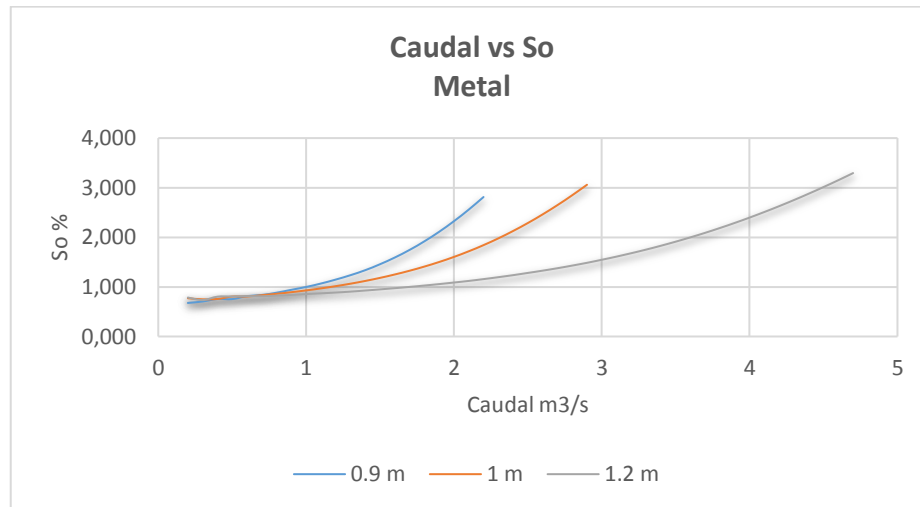


Ilustración 20 Caudal vs Pendiente. Metal Corrugado

En la siguiente grafica se puede observar que, para los mismos caudales, la tubería metálica corrugada puede trabajar con pendientes significativamente mayores, lo que evidencia la acción de la rugosidad, al tener un número de Manning mayor, la pendiente es mayor al ser directamente proporcional.

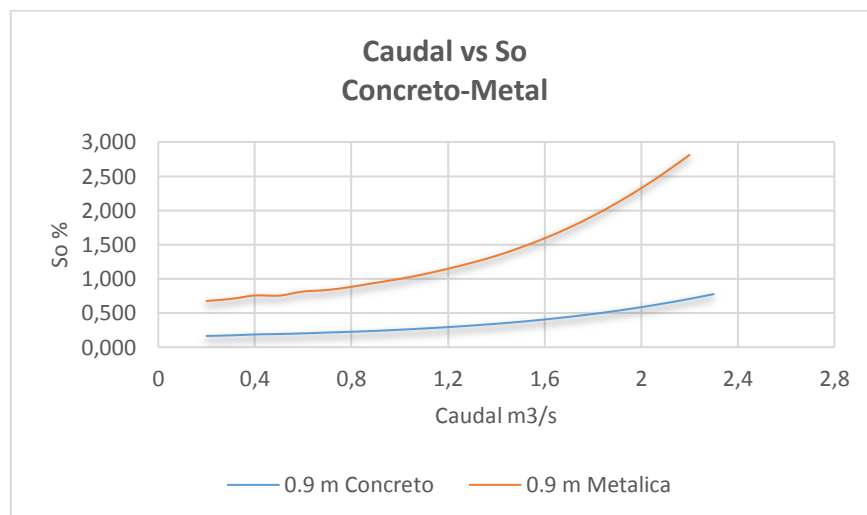


Ilustración 21 Caudal vs Pendiente para los dos materiales

3. Para la tubería en concreto reforzado las pérdidas por fricción se mantienen casi constantes hasta un caudal de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Superado este caudal, las perdidas aumentan rápidamente en el diámetro de 0.9 m, seguidamente el de 1m y finalmente 1.2 m. Cuando cada tubo llega a su máxima capacidad en régimen subcrítico las pérdidas son aproximadamente 6 cm.

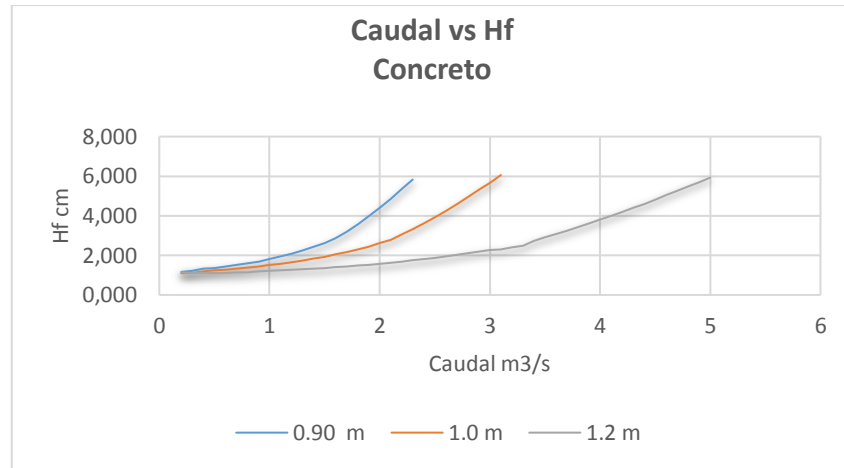


Ilustración 22 Caudal vs Hf. Concreto Reforzado

Para la tubería metálica las pérdidas por fricción se mantienen casi constantes hasta un caudal de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Después de este caudal, las perdidas aumentan rápidamente siguiendo el mismo comportamiento de la tubería en concreto, sin embargo, las tuberías metálicas no llegan a un mismo límite de perdidas máximas, debido a que el coeficiente n de Manning aumenta al aumentar de diámetro. Cuando cada tubo llega a su máxima capacidad en régimen subcrítico las pérdidas son aproximadamente 24 cm.

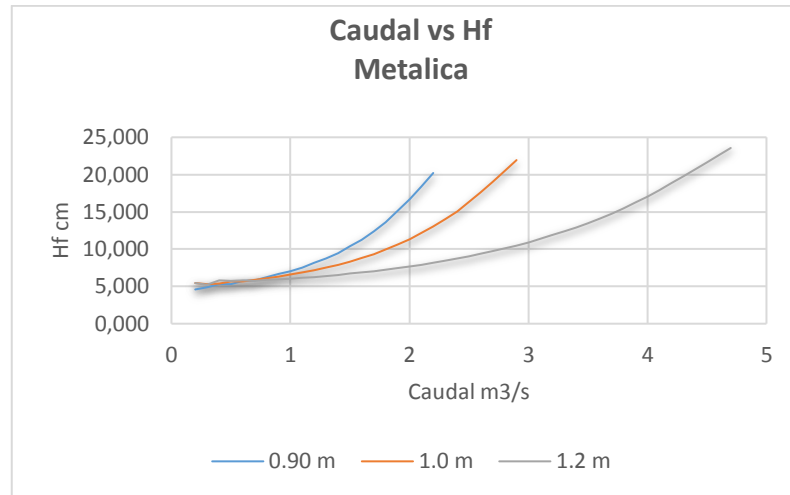


Ilustración 23 Caudal vs Hf. Metal Corrugado

4. En ambas tuberías se puede observar que la carga a la entrada para los tres diámetros es similar hasta el caudal de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Después aumenta significativamente y en mayor medida para el diámetro de 0.9 m, seguido de la tubería de 1 m y finalmente la tubería de 1.2 m, esto se debe a que a pesar de que los tres diámetros trabajan con pendientes similares (según su material), la carga a la entrada depende de la sumatoria de las pérdidas, como sabemos se tienen pérdidas por fricción, pérdidas a la salida, pérdidas por la geometría de la alcantarilla y la altura del agua en la salida (h_o) analizando estas variables se observa lo siguiente:

- Pérdidas por fricción: Cuando nos referimos a la tubería en concreto reforzado, estas pérdidas aumentan al aumentar el caudal únicamente, pero si nos referimos a la tubería metálica corrugada, las pérdidas por fricción aumentan al aumentar el caudal y el n de Manning, por esta razón este material (puntualmente la fricción que generan las corrugaciones) hace que estas pérdidas sean mayores.
- Pérdidas a la salida y por la geometría de la alcantarilla: En este caso la variable a analizar es la velocidad. La velocidad depende directamente del caudal, en este caso los caudales para las dos tuberías van en aumento, sin embargo, el área es diferente en los materiales y esta es inversamente proporcional a la velocidad, por lo cual el área es el factor diferenciador, lo que indica que, si se trabaja

con un área menor que es el caso de la tubería metálica corrugada, las pérdidas mencionadas aumentan.

Adicionalmente se tiene que la tubería de 1.2 m al tener una mayor capacidad en comparación a los diámetros más pequeños, alcanza las mayores alturas de H_w en los dos materiales.

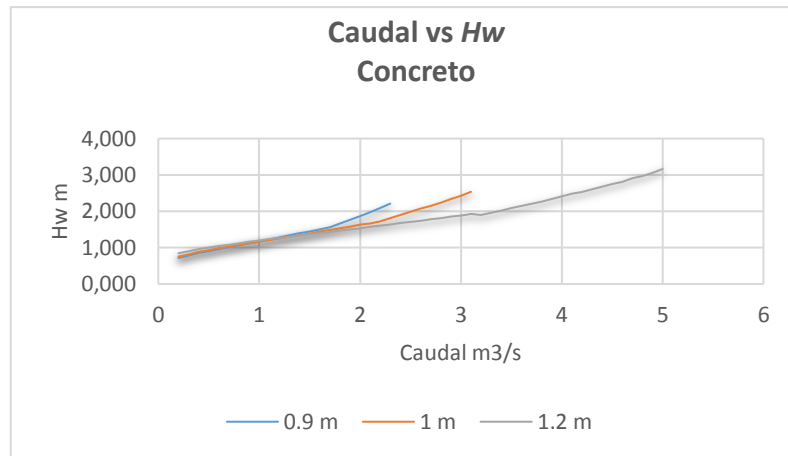


Ilustración 24 Caudal vs Carga a la entrada. Concreto Reforzado

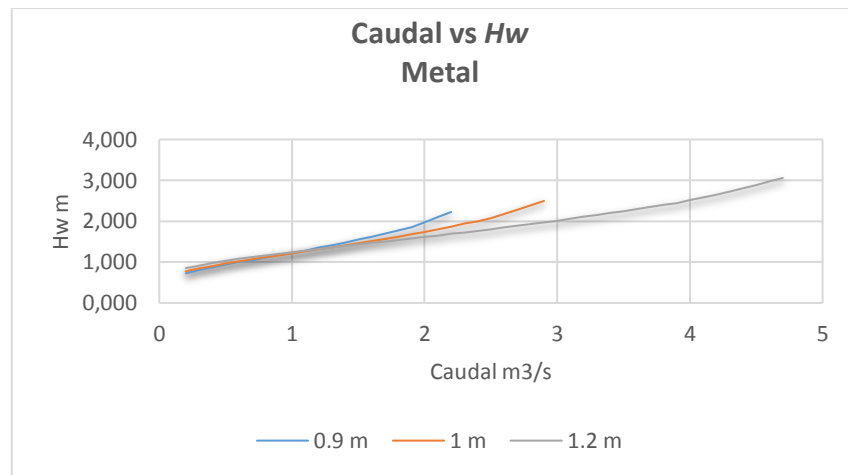


Ilustración 25 Caudal vs Carga a la entrada. Metal Corrugado

5. Comportamiento de la carga a la entrada en un mismo diámetro. Teniendo en cuenta el análisis del anterior ítem se sabe que la carga a la entrada aumenta al aumentar el caudal, el n de Manning y la velocidad, no obstante, para la condición de sumergencia se agrega a la sumatoria la altura del agua a la salida (T_w)

Lo que ocurre es que, para que la tubería se encuentre sumergida el Tailwater (T_w) requiere una altura que debe ser mayor o igual al diámetro de la tubería, lo que ocasiona que H_w aumente, a medida que se trabaja con mayores diámetros.

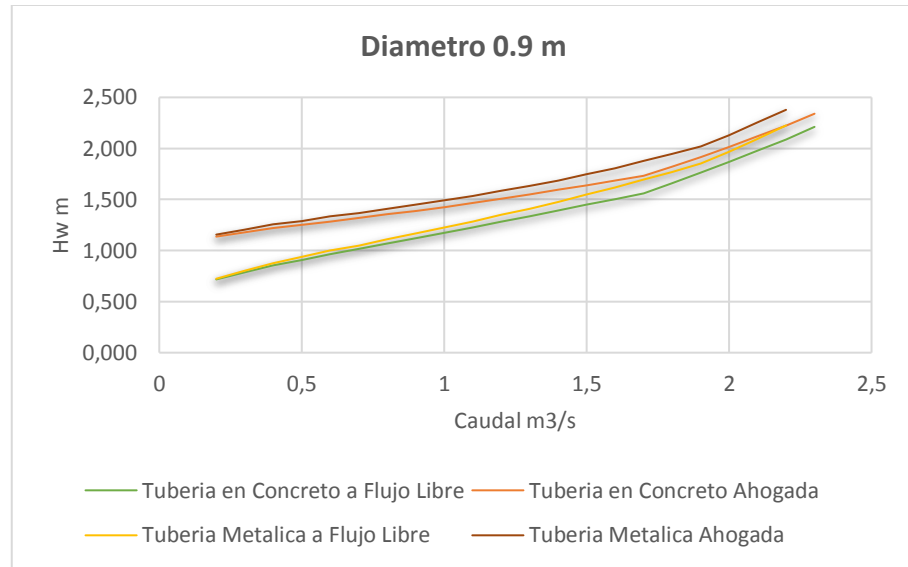


Ilustración 26 Diámetro de 900 mm. Caudal vs Carga de entrada

COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA METÁLICA CORRUGADA VERSUS LA TUBERÍA EN CONCRETO REFORZADO

APLICACIÓN DEL SOFTWARE HY-8

The screenshot shows the HY-8 software interface with the following data:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cfs
Design Flow	0.000	cfs
Maximum Flow	0.000	cfs
TAILWATER DATA		
Channel Type	Enter Constant Tailwater Elevation	
Channel Invert Elevation	0.000	ft
Constant Tailwater Elevation	0.000	ft
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	ft
Crest Length	0.000	ft
Crest Elevation	0.000	ft
Roadway Surface	Paved	
Top Width	0.000	ft

Parameter	Value	Units
CULVERT DATA		
Name	Culvert 1	
Shape	Circular	
Material	Concrete	
Diameter	0.000	ft
Embedment Depth	0.000	in
Manning's n	0.012	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configuration	Square Edge with Headwall	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	ft
Inlet Elevation	0.000	ft
Outlet Station	0.000	ft
Outlet Elevation	0.000	ft

Buttons at the bottom: Help, Click on any icon for help on a specific topic, Low Flow, AOP, Energy Dissipation, Analyze Crossing, OK, Cancel.

Ilustración 27 Pantalla de entrada en HY-8

La comparación del funcionamiento hidráulico de las dos tuberías se realiza con la hoja de cálculo y también aplicando el software HY-8, esto para un mismo escenario, es decir, el mismo caudal, la misma pendiente y los parámetros de entrada que necesita el programa, tales como:

1. Tailwater data: Nivel de agua en la salida
 - Tw=0.2 m para el diámetro de 900 mm
 - Tw=1 m para el diámetro de 1000 mm
 - Tw=1.2 m para el diámetro de 1200 mm

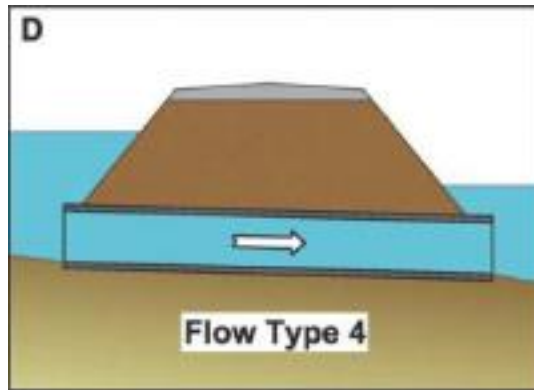


Ilustración 28 Hw and Tw. HY-8

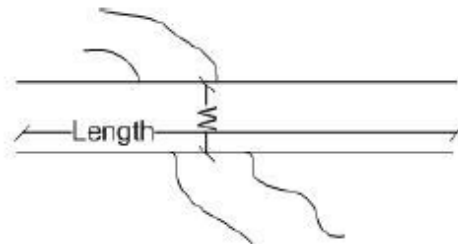


Ilustración 29 Roadway data. HY-8

2. Roadway data: Datos de la vía.

- First roadway station - Primera estación = 0
- Length – Longitud = 40 m (Tramo de vía)
- Crest Elevation – Elevación de la creta = 5 m
- Roadway Surface – Superficie de la vía = Pavimento
- Top Width – Ancho superior = 7 m (Ancho de la creta)

3. Culvert data: Información de la alcantarilla.

- Material = Concreto o Acero corrugado
- Manning
- Intel Configuration = Configuración de la estructura de entrada

4. Site data: Configuración del sitio

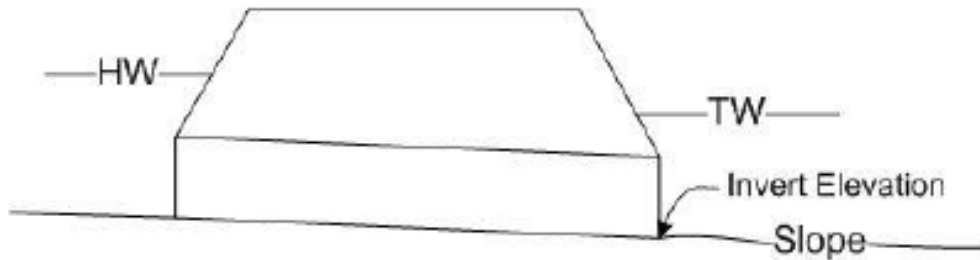


Ilustración 30 Invert Elevation. HY-8

- Intel station – Estación a la entrada = 0
- Intel elevation – Elevación de la entrada = 0
- Outlet station – Estación de salida = 9 m (Longitud de la tubería)
- Outlet elevation – Elevación de la salida. (Según la pendiente)

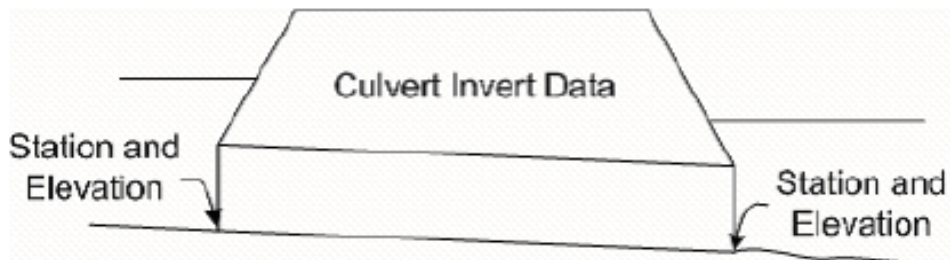


Ilustración 31 Site data. HY-8

Al colocar los valores de la elevación de la entrada y la salida de la alcantarilla se establece la pendiente.

Una vez se ingresan los datos iniciales, se procede a correr el análisis del modelo.

RESULTADOS

DIÁMETRO 900 MILÍMETROS

Material	Q (m ³ /s)	Y m	Yc m	V m/s	S %	F. libre	Sumergencia		Variación
						Hw (m)	Tw (m)	Hw (m)	Δ (cm)
Metal	0,9	0,85	0,57	1,50	0,24	0,97	1,0	1,25	5
HY-8		0,87	0,56	1,50		0,95		1,22	
Concreto		0,60	0,56	1,42		0,92		1,19	
HY-8		0,58	0,56	1,41		0,93		1,17	
Metal	1,2	0,84	0,65	2,00	0,29	1,22	1,0	1,45	9
HY-8		0,87	0,65	2,00		1,16		1,39	
Concreto		0,69	0,65	1,89		1,12		1,34	
HY-8		0,68	0,65	1,88		1,12		1,30	
Metal	1,6	0,86	0,75	2,67	0,41	1,62	1,0	1,81	18
HY-8		0,87	0,74	2,66		1,52		1,70	
Concreto		0,81	0,74	2,52		1,44		1,62	
HY-8		0,90	0,74	2,51		1,46		1,52	
Metal	1,9	0,84	0,79	3,17	0,53	1,99	1,0	2,15	19
HY-8		0,87	0,79	3,16		1,90		1,99	
Concreto		0,85	0,80	2,99		1,72		1,88	
HY-8		0,90	0,80	2,98		1,80		1,80	
Metal	2,1	0,83	0,81	3,51	0,64	2,25	1,0	2,41	14
HY-8		0,87	0,82	3,50		2,19		2,21	
Concreto		0,85	0,82	3,30		1,93		2,07	
HY-8		0,90	0,82	3,30		2,07		2,07	
Metal	2,2	0,84	0,82	3,67	0,71	2,39	1,0	2,54	13
HY-8		0,87	0,82	3,66		2,35		2,35	
Concreto		0,84	0,83	3,46		2,04		2,17	
HY-8		0,90	0,83	3,45		2,22		2,22	

Tabla 3 Resultado de hoja de cálculo y HY-8. Diámetro de 900 mm

Se puede observar que la tubería metálica corrugada afecta la carga la entrada, incrementando su dimensión en 20 centímetros aproximadamente en comparación con la tubería en concreto reforzado, lo que es una diferencia significativa y que en determinado escenario puede afectar la estructura del pavimento o inundar la vía si el terraplén no es lo suficientemente alto. El software HY-8 nos muestra un esquema de las condiciones planteadas; con esta herramienta se evidencia que la tubería

metálica se presuriza en el caudal de $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que la tubería en concreto reforzado se presuriza en el caudal de $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ambas para los 900 mm de diámetro.

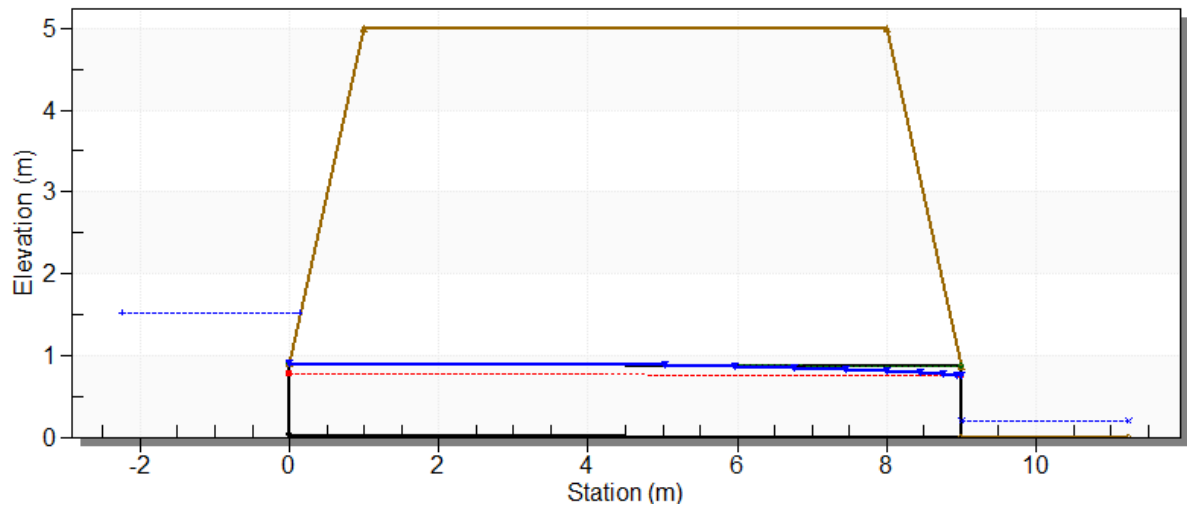


Ilustración 32 Desing Culvert. Metal corrugado 900 mm

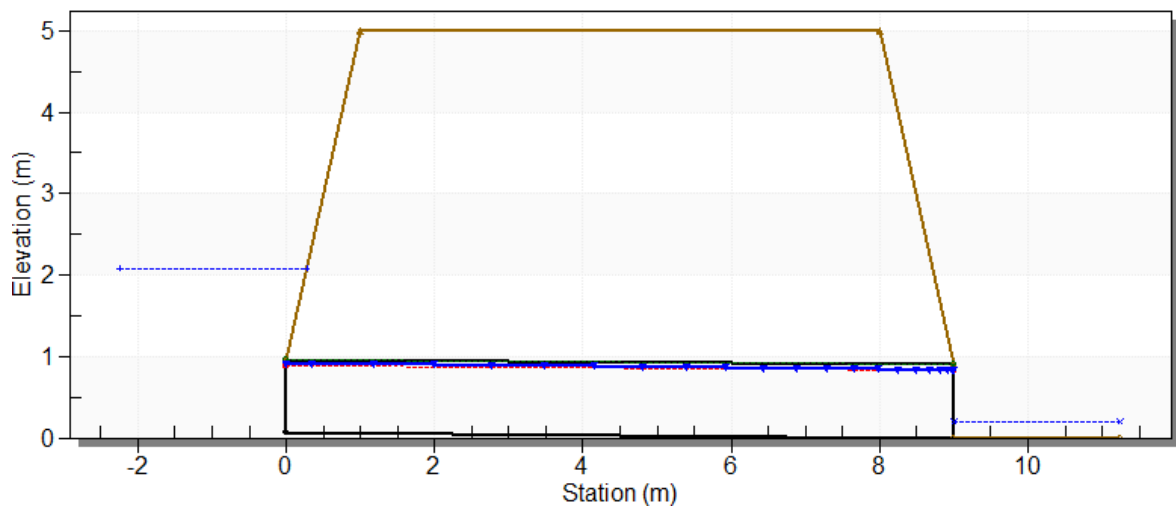


Ilustración 33 Desing Culvert. Concreto Reforzado 900 mm

Diámetro 900 mm				
Material	Q	Rh	So	Esfuerzo Cortante (Pa)
	(m ³ /s)	m		
Metal	0.9	0.243	0.24%	5.71
Concreto		0.262	0.24%	6.16
Metal	1.2	0.247	0.29%	7.04
Concreto		0.273	0.29%	7.76
Metal	1.6	0.237	0.41%	9.53
Concreto		0.269	0.41%	10.80
Metal	1.9	0.248	0.53%	12.89
Concreto		0.260	0.53%	13.50
Metal	2.1	0.251	0.60%	14.76
Concreto		0.259	0.60%	15.26
Metal	2.2	0.247	0.71%	17.22
Concreto		0.261	0.71%	18.17

Ilustración 34 Esfuerzo cortante. Diámetro 900 mm

Para los diferentes escenarios planteados se garantiza el arrastre de sedimentos ($\tau \geq 3 \text{ N/m}^2$)

DIÁMETRO 1000 MILÍMETROS

Material	Q (m ³ /s)	Y m	Yc m	V m/s	S %	F. libre	Sumergencia	Variación
						Hw (m)	Tw (m)	Hw (m)
Metal	1,7	0,93	0,76	2,28	0,31	1,45	1,2	13
HY-8		0,97	0,76	2,28		1,37		
Concreto		0,81	0,75	2,17		1,33		
HY-8		0,79	0,75	2,16		1,32		
Metal	2,2	0,91	0,85	2,95	0,42	1,90	1,2	21
HY-8		0,97	0,85	2,95		1,79		
Concreto		0,95	0,85	2,80		1,69		
HY-8		1,00	0,85	2,80		1,72		
Metal	2,6	0,92	0,89	3,49	0,56	2,33	1,2	25
HY-8		0,97	0,89	3,49		2,24		
Concreto		0,95	0,90	3,31		2,03		
HY-8		1,00	0,90	3,31		2,14		
Metal	2,8	0,92	0,91	3,76	0,65	2,56	1,2	20
HY-8		0,97	0,91	3,75		2,49		
Concreto		0,94	0,92	3,57		2,31		
HY-8		1,00	0,92	3,56		2,38		

Tabla 4 Resultado de hoja de cálculo y HY-8. Diámetro de 1000 mm

En este escenario se muestra lo mismo que para el anterior diámetro, la tubería metálica corrugada incrementa la carga de entrada, pero esta vez en 25 centímetros, debido a que se van aumentando gradualmente los caudales. HY-8 nos muestra que la tubería metálica se presuriza en el caudal de $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que la tubería en concreto reforzado se presuriza en el caudal de $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

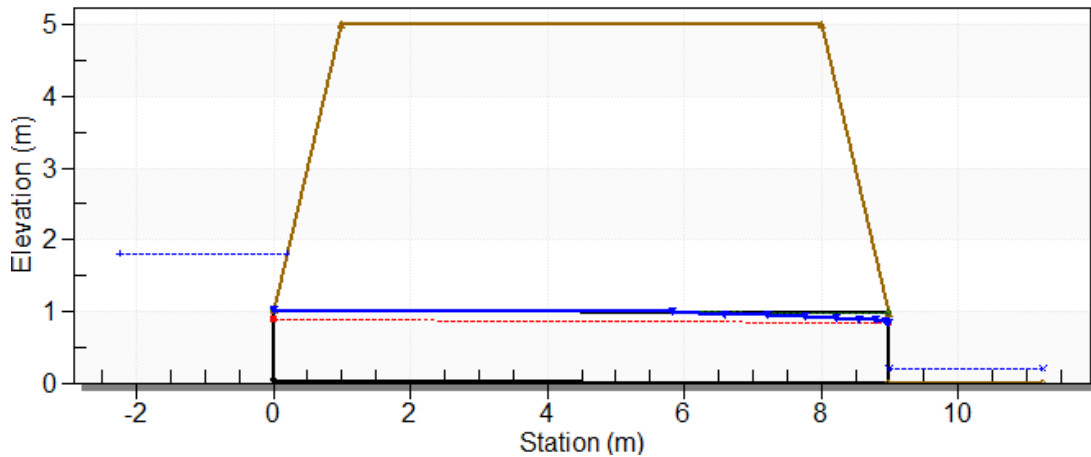


Ilustración 35 Desing Culvert. Metal corrugado 1000 mm

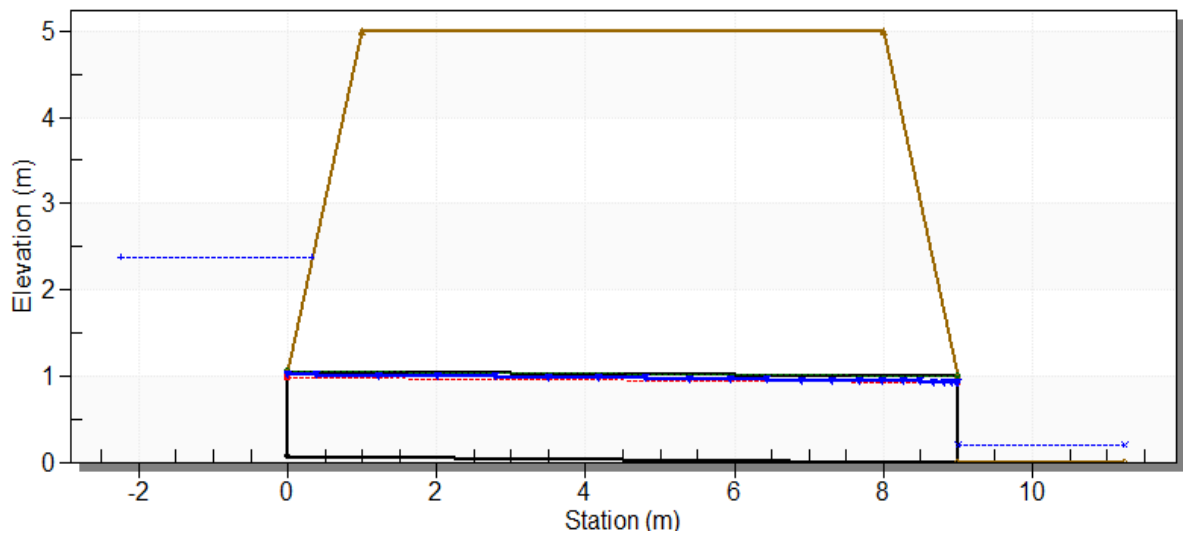


Ilustración 36 Desing Culvert. Concreto Reforzado 1000 mm

Diámetro 1000 mm				
Material	Q	Rh	S %	Esfuerzo Cortante (Pa)
	(m ³ /s)	m		
Metal	1.7	0.278	0.31	8.34
Concreto		0.304	0.31	9.12
Metal	2.2	0.283	0.42	11.73
Concreto		0.288	0.42	11.93
Metal	2.6	0.279	0.56	15.35
Concreto		0.285	0.56	15.66
Metal	2.8	0.280	0.65	17.83
Concreto		0.290	0.65	18.49

Ilustración 37 Esfuerzo cortante. Diámetro 1000 mm

Para los diferentes escenarios planteados se garantiza el arrastre de sedimentos

$$(\tau \geq 3 N/m^2)$$

DIÁMETRO 1200 MILÍMETROS

Material	Q (m ³ /s)	Y m	Yc m	V m/s	S %	F. libre	Sumergencia	Variación	
						Hw (m)	Tw (m)	Hw (m)	Δ (cm)
Metal	2,8	1,10	0,93	2,59	0,28	1,70	1,5	2,25	13
HY-8		1,17	0,92	2,58		1,69		2,13	
Concreto		1,05	0,92	2,48		1,66		2,10	
HY-8		1,20	0,92	2,47		1,63		2,00	
Metal	3,4	1,10	1,01	3,14	0,38	2,10	1,5	2,51	20
HY-8		1,17	1,01	3,14		2,07		2,43	
Concreto		1,13	1,01	3,01		1,99		2,38	
HY-8		1,20	1,01	3,00		2,01		2,23	
Metal	3,9	1,10	1,06	3,60	0,50	2,57	1,5	2,95	27
HY-8		1,17	1,06	3,60		2,47		2,73	
Concreto		1,11	1,06	3,45		2,29		2,66	
HY-8		1,20	1,06	3,44		2,39		2,46	
Metal	4,3	1,10	1,09	3,97	0,58	2,90	1,5	3,27	27
HY-8		1,17	1,09	3,97		2,83		3,00	
Concreto		1,12	1,10	3,81		2,66		2,92	
HY-8		1,20	1,10	3,80		2,73		2,73	
Metal	4,6	1,12	1,11	4,25	0,66	3,17	1,5	3,53	20
HY-8		1,17	1,11	4,24		3,13		3,21	
Concreto		1,12	1,12	4,07		2,78		3,12	
HY-8		1,20	1,12	4,06		3,01		3,01	

Tabla 5 Resultado de hoja de cálculo y HY-8. Diámetro de 1200 mm

Diámetro 1200 mm				
Material	Q	Rh	S %	Esfuerzo Cortante (Pa)
	(m ³ /s)	m		
Metal	2.8	0.340	0.28	9.19
Concreto		0.362		
Metal	3.4	0.340	0.38	12.75
Concreto		0.347		
Metal	3.9	0.340	0.50	16.68
Concreto		0.351		
Metal	4.3	0.341	0.58	19.41
Concreto		0.349		
Metal	4.6	0.335	0.66	21.67
Concreto		0.348		

Ilustración 38 Esfuerzo cortante. Diámetro 1200 mm

Para el último caso se observa que la carga de entrada ya está en un punto bastante alto para las dos tuberías, lo cual genera peligro inminente sobre la integridad de la estructura de pavimento, este incremento es a causa de los caudales tan altos que se están utilizando. La tubería metálica corrugada incrementa la carga de entrada hasta en 30 centímetros aproximadamente en comparación con la tubería en concreto reforzado. HY-8 nos muestra que la tubería metálica se presuriza en el caudal de $3.4 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que la tubería en concreto reforzado se presuriza en el caudal de $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

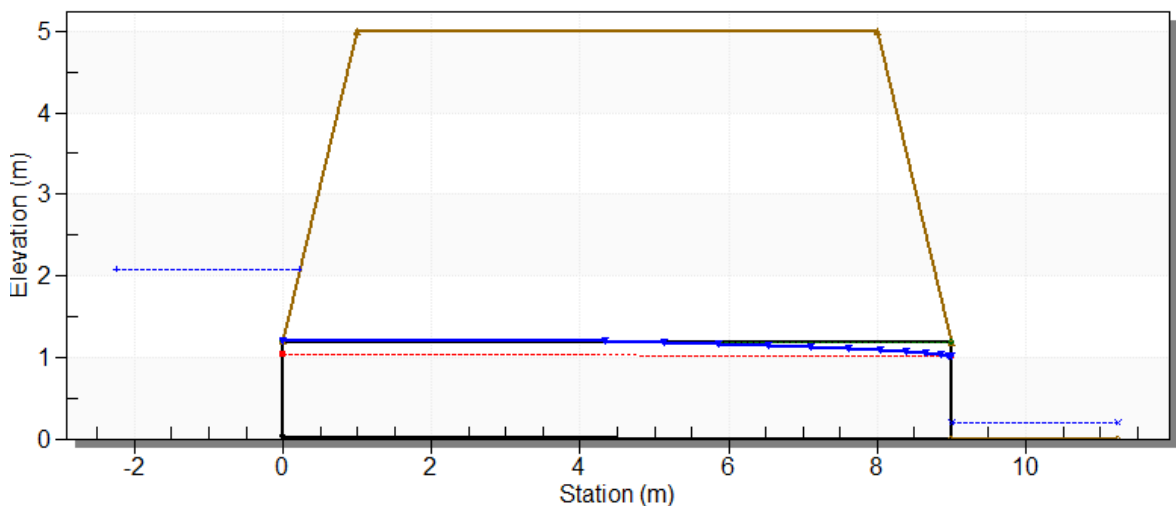


Ilustración 39 Desing Culvert. Metal corrugado 1200 mm

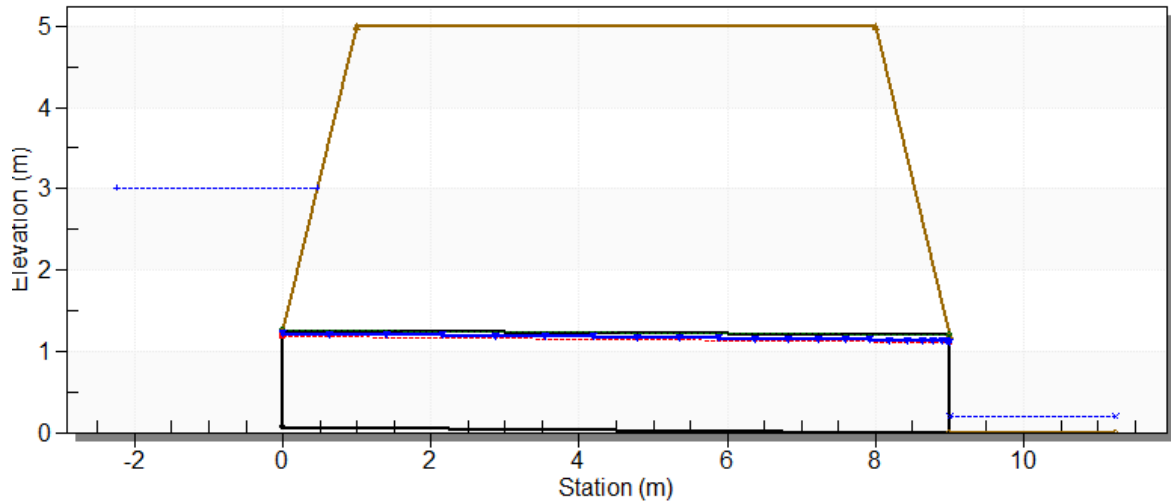


Ilustración 40 Desing Culvert. Concreto Reforzado 1200 mm

VERIFICACION DE LA CARGA A LA ENTRADA (HW)

TUBERIA METALICA CORRUGADA 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw < 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	0.5	0.67	0.59	0.42	0.2	12.78%	0.0024	0.5	1.08	0.6	0.42	1	20.59%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw < 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	0.5	0.62	0.4	0.41	0.2	11.48%	0.0024	0.5	1.05	0.4	0.41	1	19.44%
TUBERIA METALICA CORRUGADA 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1	1.02	0.87	0.59	0.2	19.45%	0.0024	1	1.27	0.9	0.59	1	24.22%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1	0.89	0.63	0.59	0.2	16.48%	0.0024	1	1.08	0.6	0.59	1	20.00%

TUBERIA METALICA CORRUGADA 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1.2	1.16	0.87	0.65	0.2	22.12%	0.0024	1.2	1.39	0.9	0.65	1	26.51%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1.2	1.07	0.71	0.65	0.2	19.81%	0.0024	1.2	1.3	0.7	0.65	1	24.07%
TUBERIA METALICA CORRUGADA 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0033	1	1.02	0.87	0.59	0.2	19.45%	0.0033	1	1.27	0.9	0.59	1	24.22%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 0.9 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0033	1	0.96	0.56	0.59	0.2	17.78%	0.0033	1	1.08	0.6	0.59	1	20.00%

Ilustración 41 Verificación de Hw, diámetro 900 mm

TUBERIA METALICA CORRUGADA 1 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1	0.96	0.97	0.58	0.2	16.43%	0.0024	1	1.38	0.97	0.58	1.2	23.61%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 1 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1	0.89	0.57	0.57	0.2	14.83%	0.0024	1	1.33	0.57	0.57	1.2	22.17%
TUBERIA METALICA CORRUGADA 1 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1.2	1.07	0.97	0.63	0.2	18.31%	0.0024	1.2	1.45	0.97	0.63	1.2	24.81%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 1 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m3/s)	(m)	m	m	(m)			(m3/s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1.2	1.05	0.65	0.63	0.2	17.50%	0.0024	1.2	1.39	0.65	0.63	1.2	23.17%

Ilustración 42 Verificación de Hw, diámetro 1000 mm

TUBERIA METALICA CORRUGADA 1.2 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1.5	1.1	1.17	0.67	0.2	15.62%	0.0024	1.5	1.68	1.17	0.67	1.5	23.85%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 1.2 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0024	1.5	1.03	0.65	0.67	0.2	14.31%	0.0024	1.5	1.44	0.65	0.67	1.5	20.00%
TUBERIA METALICA CORRUGADA 1.2 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0033	1.7	1.19	1.17	0.72	0.2	16.89%	0.0033	1.7	1.73	1.17	0.72	1.5	24.56%
TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO 1.2 m													
So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d	So	Q	Hw	Y	Yc	Tw	Hw ≤ 1.2d
	(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)			(m ³ /s)	(m)	m	m	(m)	
0.0033	1.7	1.12	0.64	0.71	0.2	15.56%	0.0033	1.7	1.44	0.64	0.71	1.5	20.00%

Ilustración 43 Verificación de Hw, diámetro 1200 mm

CONCLUSIONES

- Los diámetros de las tuberías metálicas corrugadas son ligeramente menores, debido a que las corrugaciones hacen que estos disminuyan en 26 milímetros aproximadamente, por lo cual el área efectiva de esta tubería es menor a la tubería en concreto reforzado, lo que se traduce en menores capacidades y por esta razón en régimen subcrítico ($Y_n > Y_c$) las tuberías en concreto reforzado tienen capacidades máximas hasta del 94% mientras que las tuberías metálicas tiene capacidad máxima hasta un 91%. (Tabla 1 Coeficiente de Manning)
- A partir de la pendiente crítica, se establece la pendiente que satisface el flujo subcrítico ($S_o < S_c \rightarrow \text{Flujo tipo M}$). Esta pendiente es directamente proporcional al coeficiente n de Manning, lo que genera que la tubería metálica corrugada trabaje con pendientes significativamente mayores, al tener un n de Manning mayor. Por lo cual las pendientes máximas del régimen subcrítico para tubería metálica corrugada ascienden a más de 2.8% (Ilustración 20 Caudal vs Pendiente. Metal Corrugado) para el concreto solo se consigue un máximo de pendiente de 0.8% (Ilustración 19 Caudal vs Pendiente. Concreto Reforzado).
- Para las tuberías en concreto reforzado las pérdidas máximas por fricción se mantienen casi constantes en los tres diámetros, alcanzando pérdidas de 6 centímetros aproximadamente. (Ilustración 22 Caudal vs H_f . Concreto Reforzado). El comportamiento es diferente en las tuberías metálicas, debido a que el n de Manning aumenta con el diámetro, por lo cual estas pérdidas también aumentan; entonces para la tubería metálica de 900 mm ($n=0.018$) las pérdidas máximas por fricción son de 20 cm, para el diámetro de 1.000 mm ($n=0.019$) son de 22 cm y para el de 1.200 mm ($n=0.020$) son de 24 cm. (Ilustración 23 Caudal vs H_f . Metal Corrugado).

- Para un flujo con control a la salida, donde la capacidad de la tubería la definen las características de la misma (sección, rugosidad, área, longitud, pendiente) y a su vez definen el comportamiento hidráulico, un aumento en el coeficiente de Manning, expone la integridad de la estructura del pavimento y la seguridad de la vía, debido a que la carga a la entrada aumenta. Para los tres diámetros con los diferentes escenarios de caudal y pendiente planteados y además con el análisis suministrado por el programa HY-8, se concluye que la tubería metálica corrugada afecta significativamente la carga a la entrada, aumentando su dimensión 30 centímetros aproximadamente. (Ilustración 39 Desing Culvert. Metal corrugado 1200 mm).

- Otra diferencia considerable en el comportamiento hidráulico de ambos materiales es la capacidad que cada tubería soporta antes de presurizarse. Para los tres diámetros la tubería en concreto reforzado tiene mayor capacidad, esto se debe principalmente a que tiene un área efectiva mayor por la inexistencia de corrugaciones, igualmente, disminuyen las pérdidas y se genera una altura menor en la salida (h_o). Es por esto que se obtiene lo siguiente:
 - Para el diámetro de 900 milímetros la tubería en concreto reforzado tiene capacidad para 500 litros por segundo más antes de presurizarse en comparación con la tubería metálica corrugada.
 - Para el diámetro de 1000 milímetros la tubería en concreto reforzado soporta 700 litros por segundo más.
 - Finalmente, para el diámetro de 1.200 milímetros la tubería en concreto reforzado tiene una capacidad mayor por 1.200 litros por segundo.

- Ambas tuberías en los tres diámetros, logran conseguir el arrastre de sedimentos, la tubería en concreto reforzado alcanza valores de esfuerzo cortante ligeramente mayores al presentar un radio hidráulico mayor.

- Por último, para poder evidenciar las variaciones que se presentan en los dos tipos de tubería, específicamente en los parámetros hidráulicos que se involucran al trabajar con control a la salida, se requirió plantear escenarios que difieren de las recomendaciones del manual del drenaje, al utilizar pendientes menores a 0.5% con el objetivo de verificar el comportamiento de la carga hidráulica; gracias al análisis planteado se determinó que el coeficiente n de Manning, causa la variación en la carga de entrada.

Para que la estructura del pavimento permanezca en condiciones óptimas y se garantice la seguridad y funcionalidad de la vía, el valor de H_w debe ser menor o igual a 1.2 veces el diámetro del tubo, la tubería metálica con su coeficiente n de Manning que depende directamente de las corrugaciones, provoca que la carga a la entrada supere el valor límite. Para comprobarlo se plantearon escenarios aleatorios (misma pendiente, mismo caudal y mismo T_w) los resultados mostraron que la tubería en concreto reforzado, se comporta de manera eficiente y cumple con el parámetro planteado aun cuando se encuentra en condiciones sumergidas, sin embargo, para pasar el límite seguro se trabajó a su máxima capacidad aumentando el caudal y dejando la misma pendiente. Por el contrario, la tubería metálica no cumplió en ninguna condición de sugerencia y tampoco en algunas condiciones donde el flujo se encuentra libre.

Ver: (Ilustración 41 Verificación de H_w , diámetro 900 mm, Ilustración 42 Verificación de H_w , diámetro 1000 mm, Ilustración 43 Verificación de H_w , diámetro 1200 mm).

RECOMENDACIONES DE DISEÑO

Esta comparación ayudo a determinar que la diferencia más importante en el comportamiento hidráulico de estos dos tipos de tubería es producida por el coeficiente de rugosidad n de Manning, por lo cual, para un escenario en donde existan pendientes bajas, el resultado de la carga a la entrada es significativamente mayor en la tubería metálica corrugada, ya que sus pérdidas por fricción son muy altas y además trabaja con mayores velocidades. Es por esto que si se desea implementar esta tubería de manera eficiente y segura para la vía es necesario pensar soluciones como, aumentar el diámetro del tubo, colocar tuberías en paralelo o hacer lo posible por aumentar la pendiente con el fin de mantener la carga en la entrada dentro de los límites seguros. Eventualmente esto representa aumento en los costos ya sea, en la compra de material de mayor dimensión, el transporte, la colocación, estudios nuevos para mejorar la pendiente, etc.

RECOMENDACIONES PARA FUTUROS DESARROLLOS

Es necesario realizar diferentes estudios detallados, en los que se analicen otros escenarios o en donde se apliquen comportamientos de flujo diferentes a los planteados en este documento, también puede estudiarse el desarrollo de la tubería metálica corrugada en aplicaciones urbanas o irse por el camino de comparar estos materiales en términos de durabilidad y resistencia al desgaste.

Por otra parte, se requiere investigar en el país, con respecto al comportamiento mecánico de este material, su funcionamiento ante las cargas vivas y muertas, puesto que únicamente encontramos manuales y estudios exhaustivos sobre las tuberías en concreto y en la gama de productos PVC.

BIBLIOGRAFIA

- (2010). *ALCANTARILLAS METALICAS GALVANIZADAS FABRICADAS CON LAMINA CORRUGADA DE ACERO. NTC 5138.* ICONTEC.
- CONCISA. (2017). *CONCRETOS E INGENIERIA S.A.S* . Obtenido de <http://www.concisa.com.co/>
- CONTECH. (2012). *CONTECH ENGINEERED SOLUTIONS LLC.* Obtenido de <http://www.conteches.com>
- CORPACERO. (02 de 08 de 2017). *CORPACERO. Brindamos Soluciones en Acero.* Obtenido de <http://www.corpacero.com>
- *Department of Transportation. Federal Highway Administration* . (2017). Obtenido de www.fhwa.dpt.gov
- epm. (2013). *Normas de Dieños de Sistema de Alcantarillado de las EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN E.S.P.* Medellin.
- (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 6: Estructuras y drenajes. Artículo 662: Tubería Metálica Corrugada.* .
- (s.f.). *H-CANALES 3.0* . Costa Rica: Escuela de Ingenieria Agricola.
- *HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS Ven Te Chow,* . (1994). Mexico: Mcgraw-HILL.
- *MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS INVIAS.* (2009).
- (2016). *REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS.* BOGOTA.
- *Steel & Drainage Highway Construction.* (2007). Canada Edition.
- TITAN. (2016). *TITAN ALCANTARILLADO.* BOGOTA.
- (2009). *Tubos de concreto reforzado para alcantarillado. NTC 401* . ICONTEC.
- *TUBOS DE CONCRETO, BRASIL* . (2017). Obtenido de <http://www.abtc.com.br>
- Anexo 1: Cálculos hidráulicos
- Anexo 2: Resultados HY-8, diámetro de 900 mm

- Anexo 3: Resultados HY-8, diámetro de 1000 mm
- Anexo 4: Resultados HY-8, diámetro de 1200 mm